

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské
metrologie

Návrh technologie výroby přesných rozměrů
kulového kohoutu

Production Technology Proposal of Precise
Dimensions of Ball Valve

Student:

Bc. Radim Hluchník

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radim Hluchník**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh technologie výroby přesných rozměrů kulového kohoutu**
Production Technology Proposal of Precise Dimensions of Ball Valve
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Problematika obrábění přesných rozměrů.
3. Rozbor stávající technologie.
4. Návrh variant technologie výroby.
5. Zhodnocení, diskuze výsledků a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
[2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentální metody v trieskovém obrábění*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
[4] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15. 5. 2017

A handwritten signature in blue ink, reading "Hluchý Radim". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underlining the first part of the name.

podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15. 5. 2017

podpis studenta

Bc. Radim Hluchník
Kozmice, Hlavní 497/59a, 74711

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HLUCHNÍK, R. *Návrh technologie výroby přesných rozměrů kulového kohoutu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2017, 63 s. Vedoucí práce: Doc. Ing. Čep Robert Ph.D.

Moje diplomová práce ve svém úvodu krátce popisuje společnost Armatury Group a. s. a její výrobní program, který zahrnuje průmyslové armatury a potrubní příslušenství a je rozšířen o speciální armatury, kryogenní kulové kohouty, které v současné době procházejí prototypovou výrobou. Zabývám se možnostmi opracování ploch dokončovacími metodami obrábění, a to abrazivní i beztržiskovou metodou, jež byly použity i pro testování zkušebního vzorku a prototypového dílce. Tyto skutečnosti detailně popisují v jednotlivých variantách, na kterých jsme ověřovali nastavené parametry obrábění, funkčnost a vhodnost využití stávajících obráběcích strojů. V závěrečné části jsou jednotlivé varianty zhodnoceny, výstupem z testování je doporučení pro další využití ve výrobě.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

HLUCHNÍK, R. *Production Technology Proposal of Precise Dimensions of Ball Valve: Master Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machining, assembly and engineering metrology, 2017, 63 p. Thesis head : Doc. Ing. Čep Robert Ph.D.

The Master Thesis shortly specifies the company Armatury Group a. s. in the introduction, its production range, which consists of industrial valves and piping accessories extended by special valves including cryogenic ball valves, which are manufactured as prototypes presently. I deal with the options of solution of processing the surfaces by finishing machining methods, divided in the abrasive method and the cutting less method, these methods were also used for testing of the sample and prototype part. Above-mentioned facts are described in detail in separated versions, thanks to their application the setting parameters of machining as well as functionality and suitability of current machinery were proved. Individual versions are evaluated at the closing part, the output of testing involves the recommendation of next utilization in manufacturing.

Obsah

1 Úvod.....	9
1.1 Představení společnosti.....	9
1.2 Výrobní program společnosti	10
1.3 Rozdělení kulových kohoutů	12
1.4 Kryogenní kulový kohout	13
2 Dokončovací metody obrábění	16
2.1 Abrazivní metody obrábění	16
2.2 Beztřískové metody obrábění	17
3 Opracování zkušebního vzorku	18
3.1 Zkušební broušení – obráběcí stroje	19
3.2 Zkušební broušení – dráha nástroje na stroji Hermle	20
4 Varianty řešení – abrazivní metody.....	22
4.1 Varianta č. 1 – obráběcí centrum Hermle	22
4.2 Varianta č. 2 – karuselový soustruh SK12 s přídatným zařízením	25
4.3 Varianta č. 3 – superfinišování – konvenční nebo CNC soustruh.....	29
5 Varianty řešení – beztřískové metody	30
5.1 Varianta č. 1 – obráběcí centrum Hermle	31
5.2 Varianta č. 2 – CNC soustruh SP430	38
5.3 Varianta č. 3 – CNC karuselový soustruh SKIQ 8, POWERTURN.....	39
5.4 Varianta č. 4 – konvenční soustruh, konvenční svislý soustruh	39
6 Varianty řešení – nekonvenční dokončovací metody.....	40
6.1 Varianta č. 1 - elektrochemické honování.....	41
6.2 Varianta č. 2 - elektrochemické broušení.....	42
7 Měření.....	43
7.1 Geometrické tolerance.....	43
7.2 Drsnost povrchu	46
7.3 Měření prototypového tělesa	48

8 Zhodnocení variant výroby a naměřených hodnot.....	51
8.1 Nekonvenční metody	51
8.2 Konvenční metody	51
8.2.1 Abrazivní metoda - varianta č. 1 – Hermle	51
8.2.2 Abrazivní metoda - varianta č. 2 – karusel SK12	52
8.2.3 Abrazivní metoda - varianta č. 3 – CNC soustruh SP430	52
8.2.4 Beztřísková metoda - varianta č. 1 – Hermle	52
8.2.5 Beztřísková metoda - varianta č. 2 – CNC soustruh SP430	53
8.2.6 Beztřísková metoda - varianta č. 3 – CNC karusel SKIQ 8	53
8.2.7 Beztřísková metoda - varianta č. 4 – konvenční soustruh či karusel	54
8.3 Zhodnocení naměřených hodnot.....	54
9 Závěr	55
10 Seznam použité literatury	58

Seznam použitých zkratk a symbolů

zkratka	popis	jednotka
HERMLE C60	Pěti-osé obráběcí centrum, CNC řízení Heidenhain	–
SP 430	CNC soustruh	–
SKIQ 8	Karuselový CNC soustruh	–
POWERTURN	Karuselový CNC soustruh	–
OVDD	Vyráběná komponenta - dílec	–
OVDA	Vyráběná komponenta - sestava	–
PTFE	Teflon - Polytetrafluorethylen	–
OMNISEAL	Teflonové těsnění	–
GDS	Označení pneumatického nářadí	–
TRIZACT	Brusný pás	–
SUPFINA	Přídavné brousící zařízení	–
VBD	Výměnná břitová destička	–
ECG	Electrolytical Grinding – Elektrochemické broušení	–
LNG	Zkapalněný zemní plyn	–
SMS Wenzel	Souřadnicový měřicí stroj	–
JMR	Jmenovitý rozměr	[mm]
l _r	Základní délka	[mm]
l _n	Vyhodnocovaná délka	[mm]
R _a	Střední aritmetická hodnota drsnosti	[μm]
R _z	Maximální výška profilu	[μm]
R _{Sm}	Střední vzdálenost rýh	[μm]
a _p	Hloubka řezu	[mm]
v _c	Řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
n	Otáčky stolu stroje	[min ⁻¹]
f _o	Posuv na otáčku	[mm]
f _{min}	Posuv za minutu	[mm.min ⁻¹]

1 Úvod

Společnosti zabývající se výrobou armatur si za poslední měsíce prošly nelehkým obdobím. Jedním z důvodů proč tato situace nastala, byla nízká cena ropy a trhy, kde pravidelně dodávaly vyrobené armatury, tam odběratelé odkládají své investice, případně ruší již rozpracované projekty. To se samozřejmě negativně dotklo i společnosti, ve které pracuji. Naplno se ukázala výhoda širokého portfolia výrobků, je ale zřejmé, že i když vypadne určitá část sortimentu, ty ostatní ji nahradí velmi těžce. Dalším negativem je záplava levných výrobků z Východu, zákazníci, někdy až nelogicky dávají přednost těmto výrobkům za nižší cenu, než se spolehnout na kvalitu, za kterou nejsou ochotni zaplatit vyšší cenu. V této situaci je velmi důležité udržet si stávající zákazníky a pracovat na získání nových trhů, přestože v počátku tato práce nepřináší žádné zisky, spíše je to investice do budoucna.

Jednou z takových investic je nový produkt. V současné době společnost pracuje na vývoji armatury, která bude instalována pro kryogenní aplikace. Momentálně probíhá opracování na strojích, kde jsou konstrukcí, na základě doporučení výrobců těsnících prvků, předepsány velmi nízké hodnoty drsnosti opracovaného povrchu. Jakou zvolit technologii výroby, aby se z požadavku stala skutečnost, je tématem mé diplomové práce. V ní jsou popsány jednotlivé varianty řešení s přihlédnutím na využitelnost stávajících strojů. Závěrem je celkové zhodnocení a doporučení vzhledem k investicím.

1.1 Představení společnosti

Společnost Armatury Group a.s. patří mezi významné české výrobce průmyslových armatur, dodavatel potrubí a příslušenství, poskytovatel servisních služeb a poradenství. Na trhu působí od roku 2000 a tradice této ryze české firmy vychází z více jak padesátileté historie výroby armatur v hlučínském regionu. Již od svého vzniku se společnost dynamicky rozvíjí, investuje do vývoje, výrobních technologií a především do výstavby nových výrobních hal, které mají v budoucnu ještě více rozšířit stávající výrobu.

Významnou předností firmy je široká nabídka sortimentu průmyslových armatur. Společnost poskytuje svým zákazníkům možnost komplexní dodávky technologických celků, která zahrnuje kompletaci různých průmyslových armatur a potrubí, včetně projektové dokumentace a poradenství již při vývoji. Vyvíjí a vyrábí také speciální armatury, které jsou používány v nejnáročnějších provozních podmínkách. Největší část produkce a služeb směřuje do oblasti klasické a jaderné energetiky, plynárenství a

ropného průmyslu, společnost má široké zaměření a působí i v dalších průmyslových odvětvích. Zajišťuje kompletní sestavy potrubních tras v různých materiálových provedeních dle norem EN, ASME/ASTM a jiných světových standardů. Současný roční objem produkce je více než 100 tisíc armatur a 500 tisíc položek v sortimentu potrubí a příslušenství, 70% celkové produkce se exportuje do více jak 65 zemí po celém světě.

Sídlo společnosti Armatury Group a výrobní závod se nachází v areálu v Dolním Benešově, další provozovnu v rámci České republiky má společnost v Hranicích na Moravě, dceřinná společnost na Slovensku v Žilině se svými provozovnami v Šali a Košicích. Společnost disponuje i řadou oficiálních zástupců tak, aby pokryla svými obchodními aktivitami co největší prostor, Rusko, Čína, Thajsko, Alžírko.



Obrázek 1 Výrobní hala [12]

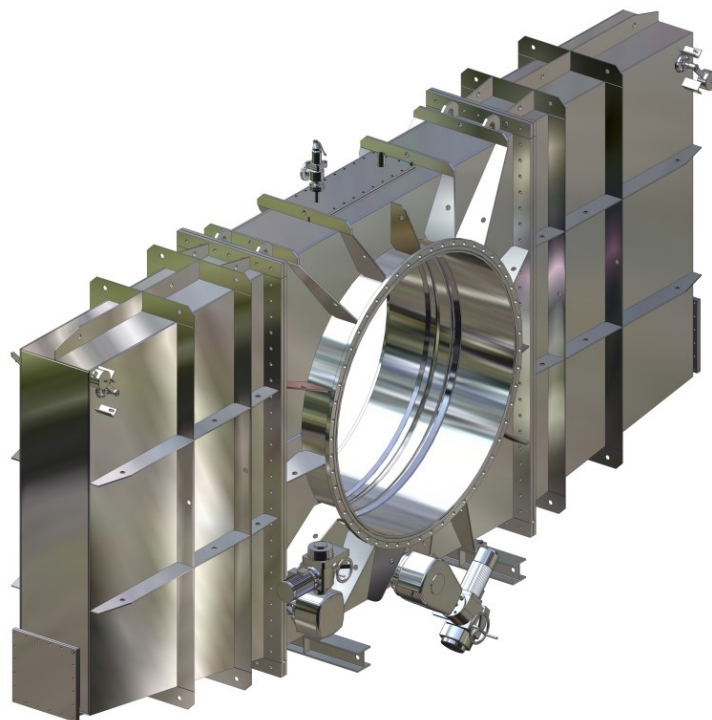
1.2 Výrobní program společnosti

Hlavním produktem společnosti je výroba průmyslových armatur.

Výrobní program tvoří čtyři základní pilíře:

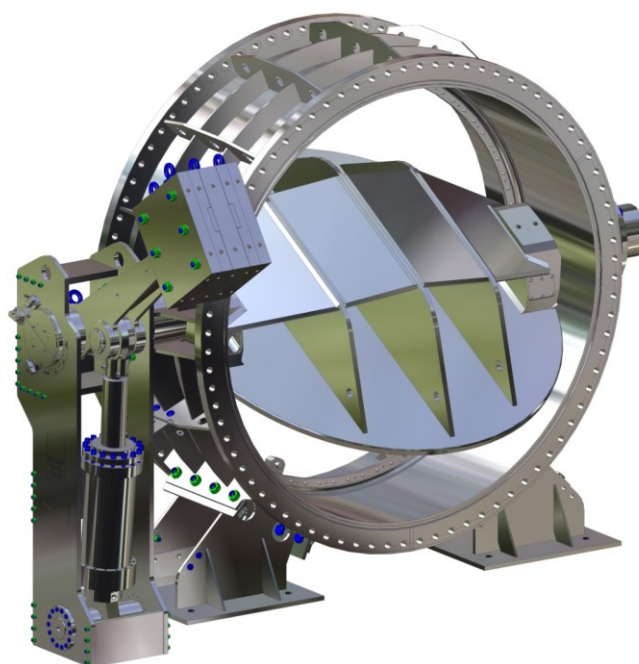
- Hutní armatury
- Armatury pro jadernou i klasickou energetiku
- Uzavírací motýlkové klapky
- Kulové kohouty

Hutní armatury jsou určeny k instalaci v hutních provozech pro vysokopecní, konvertorový nebo koksárenský plyn. Využívají se jako uzávěr k přívodu studeného vzduchu do ohřívače vzduchu, dále jako uzávěr mezi ohřívačem vzduchu a sběrným kanálem kouřového plynu, nebo jako regulátor vzduchu a plynu v přídavném potrubí. Dle typu armatury se instaluje do potrubí o maximální teplotě až +1450°C a tlaku 0,4 MPa. [15]



Obrázek 2 Ekologické brýlové šoupátko [15]

Uzavírací motýlkové klapky jsou průmyslové armatury, které se využívají k úplnému otevření nebo uzavření průtoku pro média jak kapalná tak plynná. Lze je použít i pro regulaci průtoku, při dlouhodobém používání v regulačním režimu nelze zaručit danou těsnost. Podle typu armatury a materiálu lze využít až do teploty $+550^{\circ}\text{C}$. [14]

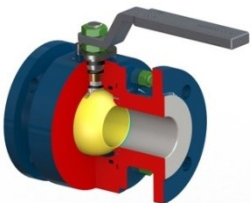
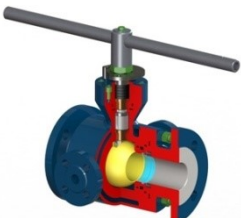

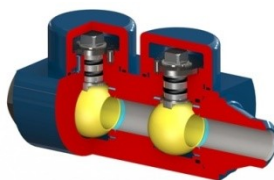


Obrázek 3 Uzavírací motýlková klapka [14]

Kulové kohouty jsou určeny k úplnému otevření nebo uzavření průtoku pracovní látky v potrubním systému. Uplatnění nacházejí v energetice, vodárenství, papírenství, chemickém nebo petrochemickém průmyslu nebo kryogenních aplikacích. Některé konstrukční varianty umožňují také krátkodobé škrcení. Dle typu armatury, zvoleném materiálu a těsnících elementů lze využívat v rozsahu pracovních teplot od -196°C do $+450^{\circ}\text{C}$. [13]





1.3 Rozdělení kulových kohoutů

Tabulka 1 Varianty kulových kohoutů – plovoucí koule [13]

Kulové kohouty provedení PLOVOUCÍ KOULE			
Provedení šroubované, přírubové, měkkotěsnící	Provedení šroubované, přírubové, kovově těsnící s topným pláštěm	Provedení šroubované, přírubové, jednoduché s vložkou	Provedení celosvařované, dvojité kulový kohout s tlakotěsnícím víkem
			

U této konstrukce kulového kohoutu, ve směru tlaku média, těsní výstupní sedlo. Netěsnost se kontroluje na výstupní straně armatury.

Tabulka 2 Varianty kulových kohoutů – koule na čepech [13]

Kulové kohouty provedení TRUNNION			
Provedení šroubované, přírubové s deskami TRUNNION PLATE	Provedení celosvařované, přivařovací s deskami TRUNNION PLATE	Provedení šroubované, přírubové bez desek TRUNNION STEM	Provedení celosvařované, přivařovací bez desek TRUNNION STEM
			

U této varianty těsní vstupní sedlo, ve směru tlaku média. Únik se kontroluje odběrem zkušebního média z meziprostoru.

1.4 Kryogenní kulový kohout

Kryogenní kulový kohout je speciální uzavírací armatura pracující při velmi nízkých teplotách. Od standardních armatur se odlišuje řadou detailů, jak v opracování, použitém systému utěsnění uzávěru, tak vstupním polotovarem, ze kterého je vyrobena. Slouží pouze k plnému otevření nebo uzavření proudícího média, škrcení není dovoleno. Takovéto armatury jsou instalovány v potrubích, kde pracovní látka je v rozmezí záporných teplot od -42°C do -273°C . Jsou určeny pro neagresivní i agresivní kapaliny a plyny bez mechanických nečistot.

Všeobecné informace: [31]

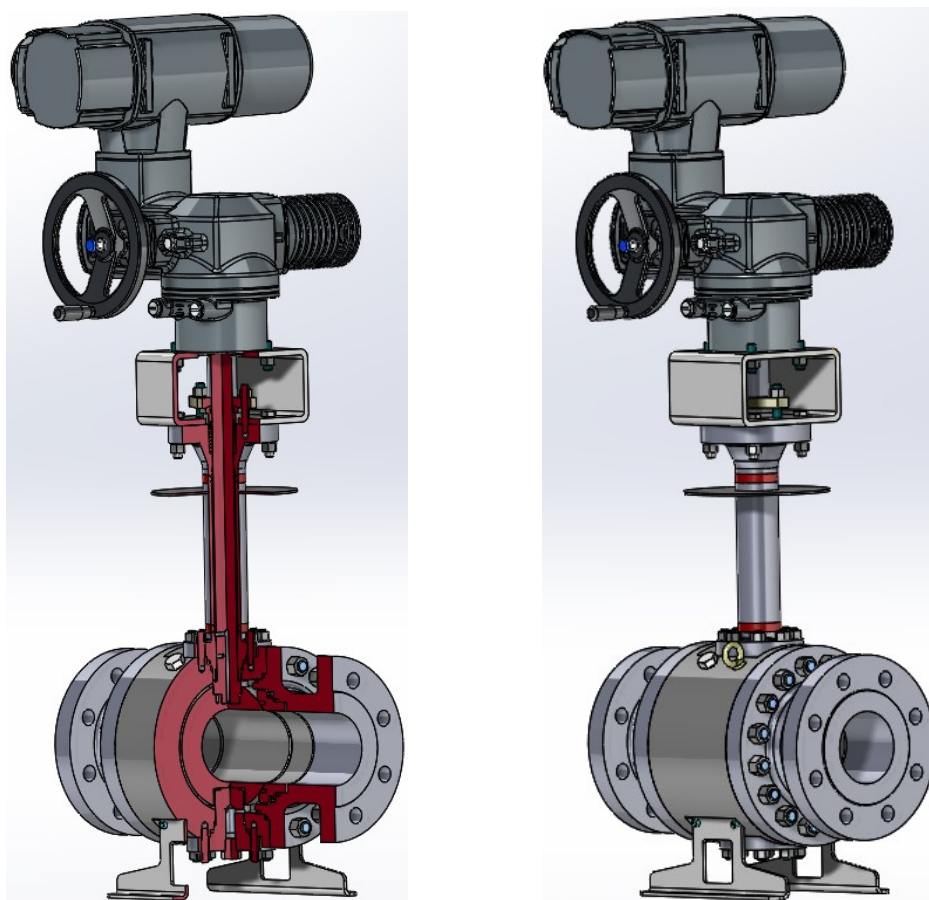
- materiály používané pro výrobu kryogenních armatur musí odolávat velmi nízkým teplotám, těmto parametrům vyhovuje austenitický materiál např. A182 F316, A182 F304
- k utěsnění šroubových spojů jsou využívány materiály, které jsou vůči těmto teplotám odolné, např. speciální grafity nebo kroužky z materiálu PTFE s vnitřní pružinou z materiálu A182 F316 případně Inconelu
- těsnění uzavíracího uzlu koule sedlo je rozděleno na rozsahy, pro teplotu do -104°C je použito těsnění z materiálu RPTFE, nižší teploty z materiálu PCTFE, obě tyto těsnící elementy můžeme považovat za tvrdé těsnění
- elektrické propojení uzávěru s ovládacím čepem – při manipulaci s armaturou nesmí vznikat statická elektřina, protože armatury mohou pracovat s hořlavými látkami, například zkapalněným zemním plynem LNG
- k zabezpečení těsnosti armatury vůči okolí i správné funkci sedel ve vnitřní části kulového kohoutu je důležitá rozměrová přesnost a drsnost opracování

Pojem kryogenní armatura se používá pro takové zařízení, které přepravují pracovní látky, které jsou při pokojové teplotě kolem 20°C plynné, ale při určitých mínusových teplotách kondenzují do kapalného stavu. Teplotní hranice, od kterého mluvíme o kryogenních armaturách je bod varu propanu tj. -42°C . Při styku s látkou o vyšší teplotě dochází k tvorbě par a tím ke zvětšení objemu a zároveň navýšení tlaku. Proto při konstrukci armatury je velmi důležitá bezpečnost. V tabulce uvádím příklady látek, které se nacházejí v kapalném stavu při teplotě zkapalnění.

Tabulka 3 Teplota zkapalnění plyných látek [30]

Plyn	Propan	Acetylen	Etylen	Metan	Kyslík	Dusík	Vodík	Helium
Teplota zkapalnění [°C]	-42	-84	-104	-163	-183	-196	-253	-269

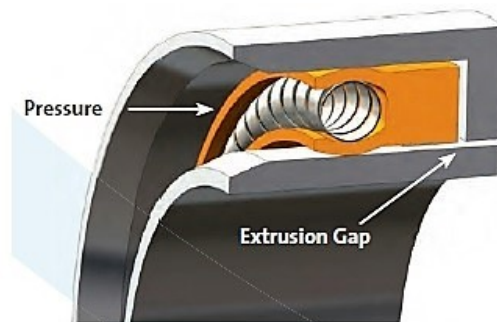
Sestava kulového kohoutu se skládá z několika vyráběných dílců. Výrobu jako takovou můžeme nazvat jako výrobu standardní, jsou však v konstrukční dokumentaci požadavky na zvýšenou přesnost, geometrickou přesnost a drsnost opracování dosedacích ploch. Ve výkresové dokumentaci jsou tyto plochy definovány opracováním Ra 0,1-0,2µm. Zde bude použito speciální těsnění Omni-Seal, které odolává těmto nízkým teplotám. Toto těsnění lze použít za předpokladu, že kromě velmi dobrého opracování dosedacích ploch musí být také zabezpečena vysoká rozměrová přesnost. Dovolená odchylka těsněných průměrů je stanovena podle doporučení výrobce těsnění.



Obrázek 4 Modely kryogenního kulového kohoutu

Hardware Surface Finish Recommendations

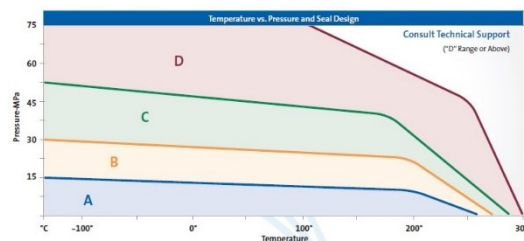
Media Sealed	Surface Finish	
	Dynamic Surface	Static Surface
Cryogenics Helium gas Hydrogen gas Freon	0,1 - 0,2 Ra	0,1 - 0,2 Ra
		0,15 - 0,3 Ra
Air Nitrogen gas Argon gas Natural gas Fuel (aircraft, automotive)	0,15 - 0,3 Ra	0,3 - 0,8 Ra
Water Hydraulic oil Crude oil Sealants	0,2 - 0,4 Ra	0,4 - 0,8 Ra



Obrázek 5 Předepsaná drsnost povrchu pro použití těsnění

Maximum Recommended Extrusion Gap

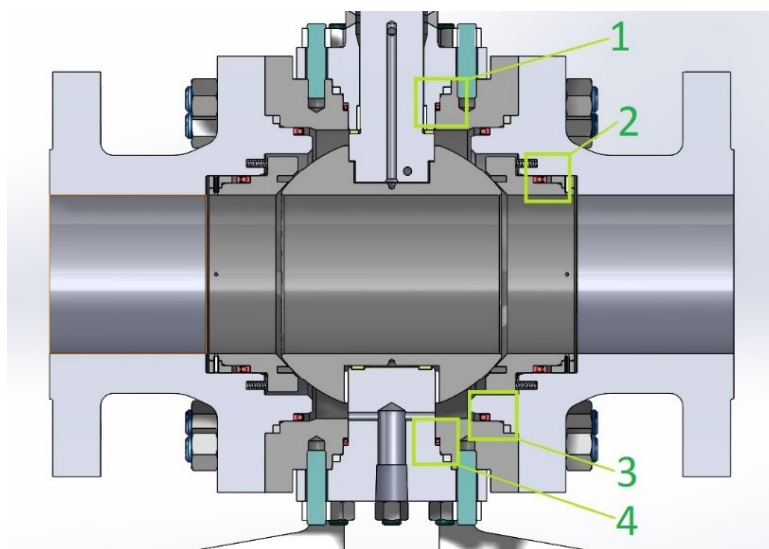
(OmniSeal® 103A shown for illustration only)		A*	B*	C*	D*
G Width	Unfilled	0,10	0,07	0,05	—
	Filled	0,15	0,10	0,07	—



Obrázek 6 Závislost tlaku na teplotě a návaznost na velikost mezery Gap [22]

Oblasti, kde výkresová dokumentace předepisuje opracování Ra 0,1-0,2μm jsou:

1. oblast – nástavec / těleso
2. oblast – sedlo / víko
3. oblast – víko / těleso
4. oblast – spodní čep / těleso



Obrázek 7 Řez kulovým kohoutem s vyznačenými konstrukčními uzly

2 Dokončovací metody obrábění

Dokončovací metody obrábění jsou rozděleny na:

- abrazivní metody – broušení, honování, lapování, superfinišování
- beztrískové metody – válečkování, vyhlazování

2.1 Abrazivní metody obrábění

Tyto metody jsou charakterizovány použitím nástrojů s nedefinovanou geometrií břitu a představují nejvíce využívané aplikace při obrábění součástí, u kterých jsou kladeny vysoké požadavky na přesnost tvaru, rozměrů a drsnosti obrobených ploch. Hodnoty, které můžeme dosáhnout, jsou uvedeny v tabulce. [7]

Tabulka 4 Dosahované parametry obrobených ploch pro abrazivní metody [2]

Metoda obrábění			Přesnost rozměrů		Drsnost povrchu	
			IT		Ra [μm]	
			střední	rozsah	střední	rozsah
Vnější rotační	Broušení	hrubovací	10	9÷11	2,4	0,8÷3,2
		dokončovací	5	5÷6	0,4	0,2÷0,6
		jemné	4	3÷5	0,2	0,05÷0,4
	Lapování	dokončovací	4	3÷4	0,1	0,05÷0,2
		jemné	2	1÷2	0,03	0,01÷0,05
	Superfinišování	dokončovací	4	3÷5	0,2	0,05÷0,4
		jemné	3	2÷4	0,06	0,02÷0,1
Vnitřní rotační	Broušení	hrubovací	10	9÷11	2,4	1,6÷3,2
		dokončovací	6	5÷7	0,8	0,4÷1,6
		jemné	5	3÷6	0,2	0,05÷0,4
	Honování	hrubovací	7	6÷8	0,4	0,2÷0,8
		dokončovací	6	5÷7	0,15	0,1÷0,2
		jemné	4	3÷5	0,07	0,05÷0,1
	Lapování	dokončovací	4	3÷5	0,2	0,01÷0,4
		jemné	2	1÷3	0,03	0,01÷0,05
Rovinné	Broušení	hrubovací	10	9÷11	2,4	1,6÷3,2
		dokončovací	6	5÷7	0,8	0,4÷1,6
		jemné	5	3÷6	0,2	0,05÷0,4
	Lapování	dokončovací	4	3÷5	0,2	0,1÷0,4
		jemné	2	1÷3	0,03	0,01÷0,05

Broušení – lze charakterizovat jako obrábění mnohobřítým nástrojem vytvořeným ze zrn brusiva, která je spojena pojivem [7]

Honování – je dokončovací metoda obrábění, při které se obráběný materiál odebírá abrazivním účinkem brusiva honovacích kamenů upevněných v honovací hlavě [7]

Lapování – je dokončovací metoda, kterou se dosahuje nejvyšší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti povrchu obrobené plochy s použitím lapovacích past [7]

Superfinišování – je zvláštní druh broušení, při němž se z dokončovaného povrchu odřezávají vrcholky nerovností abrazivním účinkem velmi jemných zrn superfinišovacích kamenů [7]

2.2 Beztřískové metody obrábění

Tyto metody dokončování spočívají v plastické deformaci povrchové vrstvy obrobku, plastická deformace probíhá do hloubky maximálně desetiny milimetrů a tímto dochází ke zlepšení parametrů struktury povrchu a ke zvýšení pevnosti a tvrdosti. [2]

Válečkování – jedná se o metodu tváření za studena, působící plastická deformace zahlazuje nerovnosti po předchozím obrábění a vyvolává zpevnění povrchových vrstev. Realizuje se rotujícími válečky nebo kuličkami, které jsou přitlačovány konstantní silou k povrchu. [2]

Hlazení – k vyhlazování se používá diamant s kuželovou špičkou, která má definovaný poloměr zaoblení a je přitlačována k povrchu součástí konstantní silou. Nejlepšího účinku je dosaženo u ocelí s tvrdostí 50-55 HRC, dosažená drsnost při jednom až třech průchodech R_a 0,1-0,2 μm . [2]



Obrázek 8 Baublies - nástroj s diamantovým hrotem [16]

3 Opracování zkušební vzorku

Z předané výkresové dokumentace sestavy a jednotlivých dílců je zřejmé, že oproti standardním kulovým kohoutům, jsou kryogenní kulové kohouty odlišné v těchto komponentech:

- Těleso
- Víko
- Čep spodní
- Nástavec

Ostatní komponenty můžeme nazvat standardní výrobou, bez dalších speciálních požadavků. Odlišnosti jsou především v drsnosti opracování sedlových ploch a ploch, kde bude použito speciální těsnicí element, dále pak v rozměrových tolerancích a v neposlední řadě také v tolerancích polohy, jako jsou souosost, kolmost nebo rovnoběžnost.

Tabulka 5 Materiálová dispozice dílců s opracováním Ra 0,1 – 0,2 μm

	Číslo výkresu	Počet kusů	Materiál	Průměr polotovaru [mm]	Délka polotovaru [mm]	Hrubá celková váha [kg]
Těleso	OVDD5340A00D11862	1	1.4571	280	168	83
Víko	OVDD5410A00D11863	2	1.4571	280	174	172
Čep spodní	OVDD4115A00D11946	1	1.4571	130	89	10
Nástavec	OVDA7200A00A06217	1	1.4571	–	–	30,3
- Příruba	OVDD7720A00D11962	1	1.4571	120	90	9,5
- Tyč	OVDD7600A00D12312	1	1.4571	60	205	4,8
- Příruba	OVDD7720A00D12313	1	1.4571	160	96	16

Vysvětlivky:

OVDD – vyráběná komponenta - dílec

OVDA – vyráběná komponenta - sestava

Sestava s názvem nástavec – OVDA7200A00A06217 - tento díl se skládá z jednotlivých komponent uvedených v tabulce níže pod ním.

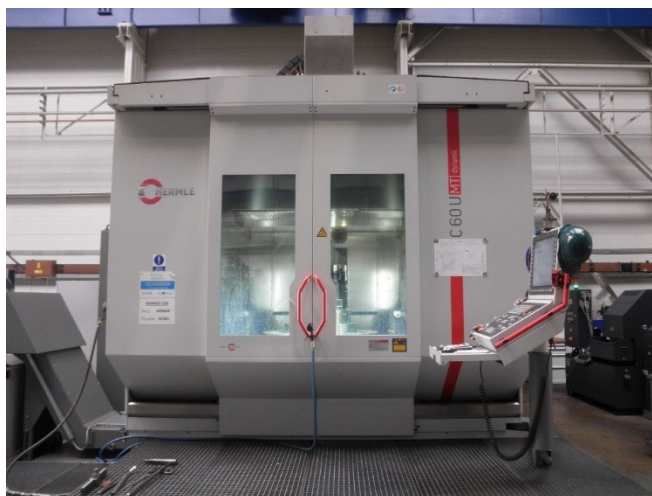
Při stanovení vstupního polotovaru vhodného pro testování jsme přihlíželi k co nejekonomičtější variantě. Volili jsme materiál A350 LF2, který jsme následně opatřili nerezovým návarem E309L Mo-17 z obou stran, aby bylo testování broušení efektivní tím, že stačí jen otočit dílec a pokračovat na soustruženém průměru. Ty byly záměrně zvoleny podle prototypového tělesa, aby bylo testování co nejvíce autentické. Soustružení bylo provedeno na CNC soustruhu SP430 s drsností $R_a\ 1,06\ \mu\text{m}$, na druhé straně byla naměřena drsnost $R_a\ 1,02\ \mu\text{m}$.

3.1 Zkušební broušení – obráběcí stroje

Po provedení soustružnických operací na CNC soustruhu SP430 byl testovaný dílec upnut do sklíčidla na stůl pětiosého obráběcího centra HERMLE C60U-MT Dynamic.



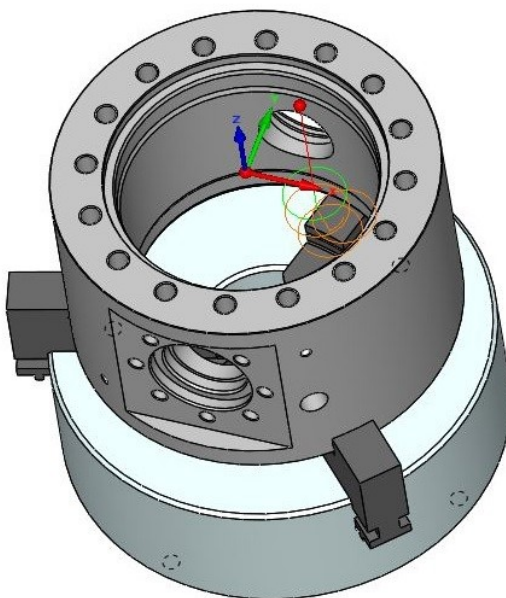
Obrázek 9 CNC soustruh SP430



Obrázek 10 Pětiosé obráběcí centrum Hermle C60U

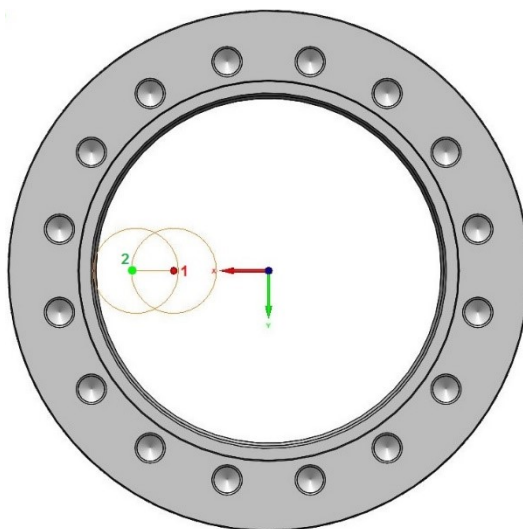
3.2 Zkušební broušení – dráha nástroje na stroji Hermle

Hlavní řezný pohyb prováděl nástroj kolem své osy, vedlejší pohyb prováděl opět nástroj po kruhové interpolaci. Obrobek upnutý ve sklíčidle na stole stroje, který byl v průběhu brousícího cyklu statický.



Obrázek 11 Základní ustavení dílce

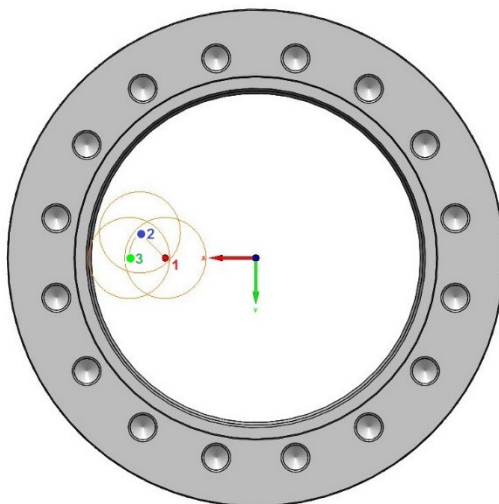
Najetí nástrojem do požadované hloubky (výchozí pozici nástroje zobrazuje bod 1 a příjezd k leštěnému povrchu (pozici nástroje zobrazuje bod 2) byl kolmý k ploše.



Obrázek 12 Graficky- polohy nástroje vůči dílci

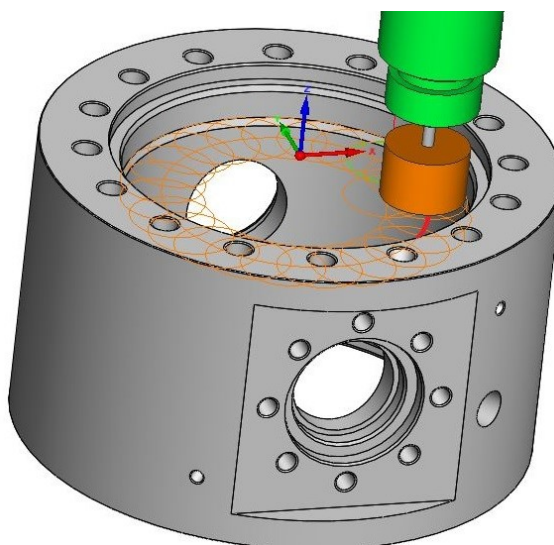
Po doteku a přitlaku 1,5mm následoval pohyb nástroje po kružnici s částečným přejezdem počátku leštění. Při prvotní kontrole povrchu byl zjištěný viditelný vrub v ploše, pravděpodobně způsobený časovou prodlevou mezi najetím nástroje do materiálu a spuštěním dráhy nástroje po kružnici.

Abychom předcházeli tomuto jevu, bylo zapotřebí programově upravit nájezdy nástroje. Příjezd nástroje byl již po kružnici a dále pokračoval po křivce i v průběhu přitlaku. Změna pozice nástroje z bodu 2 do bodu 3.



Obrázek 13 Graficky - polohy nástroje vůči dílci – upravené nájezdy

Následný pohyb po celé kruhové dráze plynule navázal, nástroj provedl požadovanou operaci a celý cyklus byl ukončen výjezdem z leštěné plochy stejným způsobem.







Obrázek 14 Graficky - brousící cyklus

4 Varianty řešení – abrazivní metody

4.1 Varianta č. 1 – obráběcí centrum Hermle

Bylo zapotřebí ověřit, jak postupně volit zrnitosti jednotlivých kotoučů a zda je vůbec možné touto technologií dosáhnout předepsaného opracování. Zkušební vzorek z materiálu A350 LF2 s nerezovým návarem E309LMO-17.

Tabulka 6 Dosažené hodnoty drsností

Testování č. 1.1 – smirkový lamelový kotouč P180						
	Hodnoty	Drsnost Ra [μm]	Broušený ø [mm]	Otáčky n [min ⁻¹]	Posuv f [mm/min ⁻¹]	Přítlak [mm]
	po soustružení	1,06	175	–	–	–
	cyklus č. 1	1	175,02	5000	100	1
	cyklus č. 2	0,95	175,03	5000	100	1
Testování č. 1.2 – smirkový lamelový kotouč P320						
	Hodnoty	Drsnost Ra [μm]	Broušený ø [mm]	Otáčky n [min ⁻¹]	Posuv f [mm/min ⁻¹]	Přítlak [mm]
	po cyklu č. 2 (P180)	0,95	175,03	–	–	–
	cyklus č. 3	0,8	175,04	5000	100	1
	cyklus č. 4	0,7	175,05	5000	100	1
Testování č. 1.3 – kotouč rouno fine						
	Hodnoty	Drsnost Ra [μm]	Broušený ø [mm]	Otáčky n [min ⁻¹]	Posuv f [mm/min ⁻¹]	Přítlak [mm]
	po soustružení	1,02	175,2	–	–	–
	cyklus č. 1	1,3	175,22	6000	120	1,5
	cyklus č. 2	1,3	175,23	6000	120	1,5
Testování č. 1.4 – kotouč rouno very fine						
	Hodnoty	Drsnost Ra [μm]	Broušený ø [mm]	Otáčky n [min ⁻¹]	Posuv f [mm/min ⁻¹]	Přítlak [mm]
	po cyklu č. 2 (fine)	1,3	175,23	–	–	–
	cyklus č. 1	1,1	175,24	6000	120	1,5
	cyklus č. 2	1,05	175,25	6000	120	1,5

Z naměřených výsledků vyplývá, že zvolenými brousícími kotouči nejsme schopni dosáhnout požadovanou hodnotu opracování. Můžeme tedy konstatovat, že testování č. 1 je s použitými brousícími kotouči nevyhovující.

Abychom pro další testování měli stejné vstupní podmínky, přesoustružili jsme testované průměry a naměřili výchozí hodnoty pro broušení. Pro další testování jsme zvolili brusný pás Trizact 237AA od firmy 3M. [20] Z tohoto pásu byly vyrobeny prstence, které byly nasazeny na držák. Takto připravený nástroj byl upevněn do vřetene stroje.



Obrázek 15 Prstenec, držák a sestava brousícího nástroje [20] [21]

Pro tento test jsme zvolili čtyři postupné zrnitosti – A65, A30, A16 a A6. Výběr proveden podle informací výrobce, kde pro nerezovou ocel je možné získat tyto průměrné hodnoty drsnosti povrchu.

Drsnost povrchu

V následující tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty drsnosti v mikrometrech, vytvořené jednotlivými zrnitostmi strukturovaného brusného materiálu Trizact™ na různých kovech.

Ra micron

Hodnoty drsnosti se mohou v závislosti na pracovních podmínkách měnit o +/- 20%.

	A110	A100	A90	A80	A65	A60	A45	A30	A16	A6
Tvrdé pochromování	0,55	0,50	0,48	0,45	0,40	0,34	0,25	0,15	0,08	0,03
Popouštěná nerezová ocel	0,58	0,53	0,50	0,47	0,42	0,36	0,27	0,17	0,08	0,04
Nástrojová ocel	0,55	0,53	0,51	0,50	0,45	0,40	0,30	0,20	0,10	0,04
Titan	0,90	0,65	0,60	0,50	0,45	0,40	0,30	0,25	0,18	0,09
Nerezová ocel 304	1,10	1,00	0,92	0,85	0,70	0,60	0,45	0,29	0,15	0,06
Uhlíkatá ocel	1,25	1,10	1,00	0,90	0,78	0,70	0,48	0,35	0,16	0,08
Mosaz	1,40	1,20	1,05	0,95	0,80	0,75	0,55	0,38	0,22	0,09
Měď	1,45	1,25	1,10	0,98	0,85	0,80	0,59	0,39	0,24	0,10
Nikl	1,30	1,15	1,10	1,00	0,80	0,65	0,55	0,40	0,20	0,12
Hliník	1,60	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00	0,90	0,65	0,40	0,30

Výše uvedené hodnoty byly získány statistickou metodou v následujících pracovních podmínkách:

Rychlost pásu: 30 m/s (Titan 15 m/s)
 Kontaktní kolo z hladké gumy: 40 Shore A
 Pracovní tlak: 20.10° Pa (2 kgf/cm²)
 Rychlost posuvu: 4 m/min, 2 průchody


Obrázek 16 Drsnosti povrchů pro jednotlivé zrnitosti [21]

Všechny takto připravené nástroje pracovaly za stejných podmínek. Jednotlivé dílčí hodnoty dosažených drsností Ra nebudu uvádět, zaměřím se pouze na nejjemnější zrnitost a tou je A6. Podle tabulky výše by měla hodnota Ra dosahovat až 0,06 μ m, což se nám nepotvrdilo. Při našich testech jsme dosáhli nejlepší hodnotu 0,22 μ m. Z tohoto pohledu lze usoudit, že jsme se velmi přiblížili požadovaným hodnotám.

Obráběcí centrum Hermle – prototypové těleso

Zhodnotili jsme dosažené výsledky testování a nabyté zkušenosti využili pro prototypové těleso. Broušení bude opět probíhat od zrnitosti A65 až po A6. Jednotlivé cykly byly rozšířeny o další jeden průchod. Hlavní řezný pohyb prováděl nástroj, vedlejší opět nástroj po kruhové interpolaci, obrobek statický. Materiál prototypu 1.4571. V následující tabulce zobrazeny hodnoty při použité zrnitosti A16 a A6.

Tabulka 7 Dosažené hodnoty Ra – zrnitost kotouče A16 a A6

	Testování č. 2.1 – Trizact A16					
	Hodnoty	Drsnost Ra [μ m]	Broušený \varnothing [mm]	Otáčky n [min^{-1}]	Posuv f [$\text{mm}/\text{min}^{-1}$]	Přítlak [mm]
	po Trizact A30	0,38	185,1	–	–	–
	Cyklus (2 průchody)	0,31	185,12	12000	4000	0,3
	Testování č. 2.2 – Trizact A6					
	Hodnoty	Drsnost Ra [μ m]	Broušený \varnothing [mm]	Otáčky n [min^{-1}]	Posuv f [$\text{mm}/\text{min}^{-1}$]	Přítlak [mm]
	po cyklu Trizact A16	0,31	–	–	–	–
	Cyklus č. 1 (2 průchody)	0,23	185,13	12000	4000	0,2
	Cyklus č. 2 (2 průchody)	0,18	185,13	12000	4000	0,2

Hodnocení varianty č. 1

Po provedených testech na zkušební vzorku a následně na prototypovém dílci jsme úspěšně dosáhli požadovaného opracování s použitím brousících kotoučů testovaných zrnitostí.

Využití tohoto stroje je však omezeno tím, že nemá zabudované filtry pro velmi jemné částice, které vznikají při tomto broušení. Pokud by tento stroj byl bez filtrace dále využíván, reálně hrozí zanášení těmito částicemi a poškození stroje. Následná údržba by byla finančně náročná.

Výhody:

- Nízké pořizovací náklady na brusné kotouče, řádově desítky korun
- Bezproblémové programování dráhy nástroje, nájezdy a výjezdy po kružnicích
- Při jednom upnutí opracují několik otvorů, polohování stolu stroje
- Nejsou zapotřebí přípravky, dílec je upnutý do sklíčidla, tímto dosáhnou opakovatelnost upnutí
- Odpadá kontrola ustavení pomocí sondy

Nevýhody:

- Tento stroj není primárně určen pro brousící činnosti
- Zanášení částicemi brusiva
- Vysoká hodinová sazba

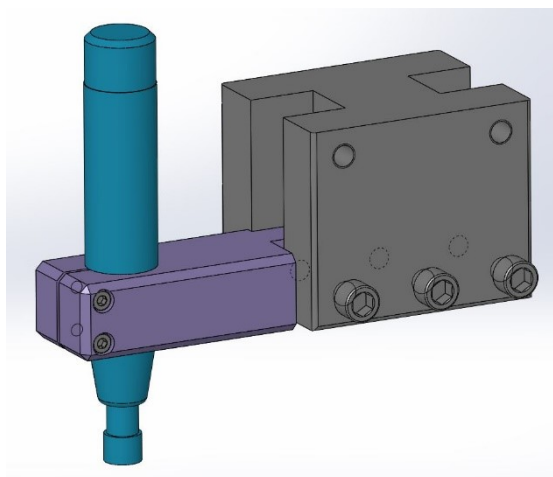
4.2 Varianta č. 2 – karuselový soustruh SK12 s přídatným zařízením

Po zvážení všech poznatků z testování a následném vyleštění prototypového kulového kohoutu bylo rozhodnuto o vyrobení dalšího tělesa, na kterém se provedla alternativní technologie.

Vzhledem k tomu, že reálně hrozí poškození stroje Hermle mikročásticemi z brusných kotoučků, byl jako alternativa zvolen konvenční obráběcí stroj – karuselový soustruh SK12 a přídatné zařízení – pneumatická bruska GDS. [18] Způsob leštění byl následující – hlavní řezný pohyb prováděl nástroj, v našem případě leštící kotouč upnutý v brusce, obrobek upnutý ve sklíčidle na stole stroje, počet otáček byl pro začátek stanoven na 20 ot.min⁻¹. Dílec byl opracován na CNC soustruhu SP430 s naměřenou drsností Ra 1,1μm. Abychom co nejvíce využili nabízené možnosti testovat, byl zvolen následující postup.

- Jednu stranu tělesa postupně leštit smirkovými prstenci A65, A30, A16, A6 se zařízením GDS 070-070S a použitím lapovací pasty [18]

- Druhou stranu tělesa postupně leštit smirkovými prstenci A65, A30, A16, A6 se zařízením GDS 070-070S a použitím lapovací pasty, ale použije se zařízení GDS 070-045S, které má nižší otáčky



Obrázek 17 Upnutí pneumatické brusky v držáku

V prvním případě jsme dosáhli drsnosti opracování $Ra\ 0,3\ \mu m$ při maximálních otáčkách $7000\ ot.min^{-1}$ a jelikož tato drsnost nebyla vyhovující, přistoupili jsme k aplikaci brusné pasty, která se nanášela na filcový kotouč. Otáčky stroje jsme snížili na $8\ ot.min^{-1}$.

Výsledek: Nevyhovující

Pálení brusné pasty, pravděpodobně vlivem vysokých otáček filcového kotouče

Druhou stranu tělesa jsme vyleštili opět na $Ra\ 0,3\ \mu m$, ale pro brusnou pastu jsme zvolili zařízení GDS 070-045S o max. otáčkách $4500\ ot.min^{-1}$. Otáčky stroje se ponechaly stejné, doba leštění asi 3 minuty u obou variant.

Výsledek: Vyhovující

Dosaženo požadované drsnosti v rozmezí $Ra\ 0,16 - 0,18\ \mu m$

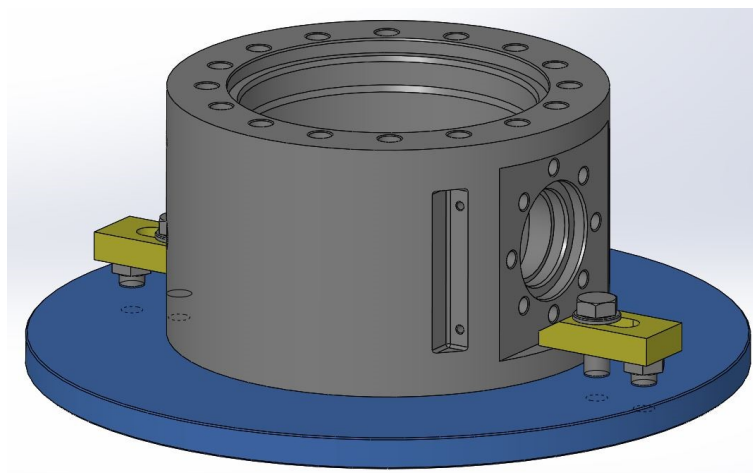
Částečné hodnocení varianty č. 2

Ukázalo se, že i když jsme použili drsnosti kotoučů z varianty č. 1, nebylo dosaženo potřebného opracování. Přesný důvod neznáme, pravděpodobně jsou otáčky použitých brusek nízké, pokud by tato varianta měla být používána, bude zapotřebí pořídit nové zařízení s vyššími otáčkami, nejlépe nad $10000\ ot.min^{-1}$.

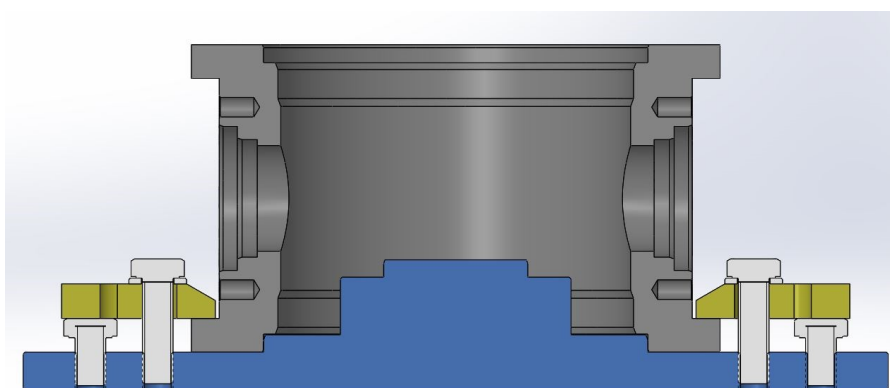
Dalším důležitým bodem je ustavení dílce na stroji. Na tělese jsou čtyři plochy, která mají být opracovány na $Ra\ 0,1-0,2\ \mu m$, konkrétně $\varnothing 185\ mm$ a k tomuto průměru o 90° pootočená čepová partie s $\varnothing 61\ mm$.

Řešením je použití přípravku tak, že využijeme další průměry, které jsou opracovány na drsnost $Ra\ 1,6\ \mu m$ a tolerančním polem $JMR^{+0,1}\ mm$.

Idea přípravku směřuje k jeho maximálnímu využití, konstrukce využívá jedné základní desky, na které jsou soustruženy jednotlivé průměry pro použití obou broušených průměrů.

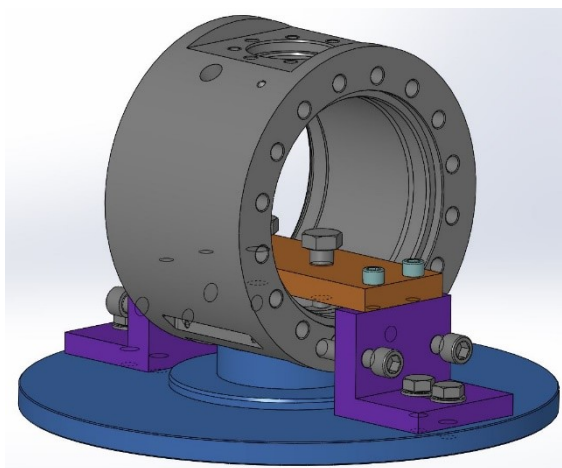


Obrázek 18 Ustavení dílce na přípravku

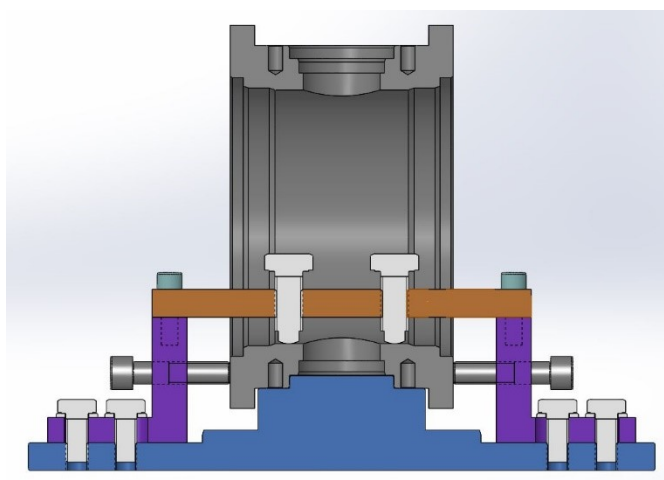


Obrázek 19 Ustavení dílce na přípravku - řez

Nákresy znázorňují ustavení dílce na přípravku, upnutí pomocí upínek. Takto připravená sestava je připravena pro broušení víkových průměrů.



Obrázek 20 Ustavení dílce na přípravku, čepová partie



Obrázek 21 Ustavení dílce na přípravku, čepová partie - řez

Celkové hodnocení varianty č. 2

U této varianty nelze naprogramovat dráhu nástroje. Broušení probíhalo tak, že bylo nástrojem najeto do požadované hloubky a při spuštěných otáčkách přídavného zařízení a stolu stroje přiblížení k broušené ploše a proveden mírný dotek. Pak se postupně ručně vytvořil přítlak 0,2mm a nechal se brousící cyklus takzvaně vyběhat.

Výhody:

- Nízké pořizovací náklady na přídavné zařízení odhadem 15000 Kč, cena brusných kotoučů stejná jako u varianty č. 1
- Nižší hodinová sazba, nižší náklady na tuto operaci

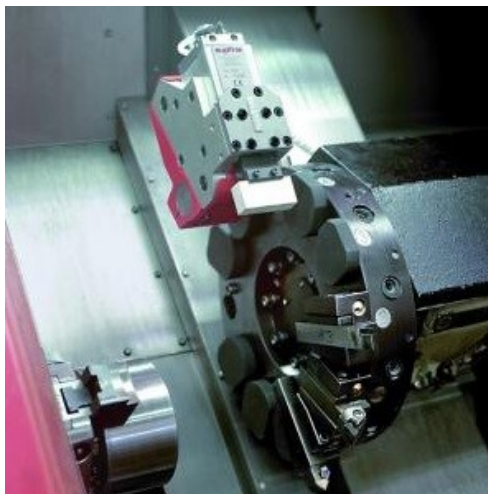
Nevýhody:

- Kontrola ustavení dílce v přípravku pomocí číselníkového úchylkoměru
- V základním přípravku velká pracnost před dalším broušením – demontáž dílce z přípravku, otočení, vložení do přípravku, správné ustavení
- Při použití lapovacích past se předpokládá znečištění dílce i stroje, zvýšený náklad na čištění
- Větší zkušenost obsluhy

4.3 Varianta č. 3 – superfinišování – konvenční nebo CNC soustruh

Superfinišování je vysoce produktivní metoda dokončovacího obrábění. Je to zvláštní druh broušení, při němž se abrazivně odřezávají vrcholky nerovností. Je charakterizováno malými řeznými rychlostmi a kmitavým pohybem superfinišovací hlavy. Brousící nástroje jsou kameny, procesní kapalina petrolej, případně oleje s aditivy. [2] [8]

Tato varianta dokončovací operace využívá CNC případně konvenční soustruh, kde se do nástrojové hlavy připevní přídavné zařízení a připojí se na dílenský rozvod stlačeného vzduchu. Jako velmi vhodné se jeví zařízení Supfina 90 s filtračním zařízením.



Obrázek 22 Superfinišovací zařízení Supfina [10] [11]

Hodnocení varianty č. 3

Tato varianta nebyla ve výrobním závodě testována, protože tímto zařízením společnost nedisponuje. Výhody a nevýhody metody uvádím v teoretické rovině.

Výhody:

- Dráha nástroje s využitím CNC soustruhu je programovatelná
- Lze dosáhnout opracování $Ra\ 0,025\ \mu m$

- Pokud se stroj využívá i pro prvotní opracování, výhodou je opracování na jedno upnutí

Nevýhody:

- Zanášení částicemi brusiva
- Omezená velikost a hmotnost dílce
- Pořízení filtračního zařízení v případě používání na CNC stroji

5 Varianty řešení – beztržiskové metody

Pro tuto variantu byl zvolen nástroj s diamantovým hrotem. Diamant je nejtvrdším přírodním krystalem, proto je vhodný pro obrábění materiálů s tvrdostí až 60 HRC, má nejlepší tepelnou vodivost ze všech přírodních krystalů. Důležitým předpokladem pro práci s diamantem je chlazení. Během tváření materiálu dochází ke zvýšení teploty. Vzhledem k dobré tepelné vodivosti diamantu je teplo odvedeno z povrchu zpracovávaného materiálu až po matrici, ve které je diamant uložen. Matrice má stejnou vodivost jako materiál držáku, proto dochází ke snížení odvodu tepelné energie, která se hromadí právě na přechodu z diamantu do kovové matrice. Pokud tedy není zabezpečeno dostatečné chlazení, hrozí jeho poškození. [17]

Baublies – diamantový nástroj s odpruženým diamantovým hrotem pro opracování vnějších i vnitřních průměrů, disponuje natáčecí hlavou 240°, výměnná matrice s diamantem, který lze přebrousit. [17]



Obrázek 23 Baublies – kulička diamantového nástroje [16]

5.1 Varianta č. 1 – obráběcí centrum Hermle

Testování nástroje jsme provedli za účasti s odborníků z Vysoké školy Báňské, katedry obrábění, montáže a strojírenské technologie. S nimi jsme dopředu konzultovali použití tohoto nástroje, včetně jeho nastavení.

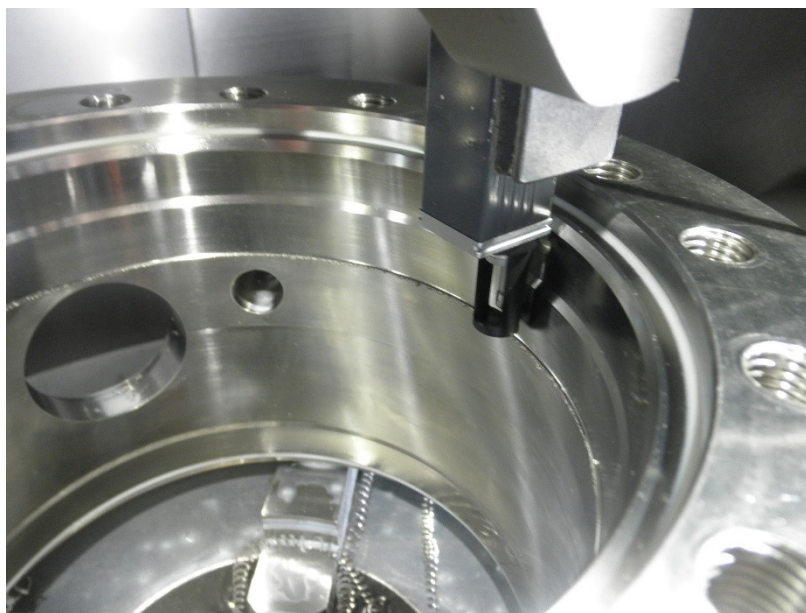
Vzhledem ke skutečnosti, že jsme tento nástroj testovali přímo na prototypovém tělese a všechny průměry již byly opracovány dle výkresu, bylo konstrukcí stanoveno, že je možné zvětšit průměr v průtoku o max. 2mm. Po přesoustružení se změnila vstupní hodnota drsnosti před vlastním hlazením. Sonda měřicího zařízení Mitutoyo SJ-201P, byla pomocí držáku upnutá jako nástroj ve vřetenu stroje. Tímto opatřením jsme eliminovali chybovost při měření, protože sonda je v klidu. Měření tímto způsobem je však časové náročné, protože je zapotřebí ručně provést dotyk měřícím palcem a po každém použití je nutné držák společně se sondou vyjmout ze stroje. Sonda je propojena kabelem k tělu přístroje a měřené hodnoty lze odečítat na display mimo pracovní prostor obráběcího stroje, což můžeme považovat za výhodu.



Obrázek 24 Měřicí zařízení drsnosti Mitutoyo SJ-201P [23]

Soustružení bylo provedeno těmito parametry:

- VBD rádius špičky $r = 0,8 \text{ [mm]}$
- Řezná rychlost $v_c = 100 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$
- Otáčky stolu stroje $n = 175 \text{ [min}^{-1}\text{]}$
- Posuv na otáčku $f_o = 0,1 \text{ [mm]}$
- Hloubka řezu $a_p = 0,5 \text{ [mm]}$



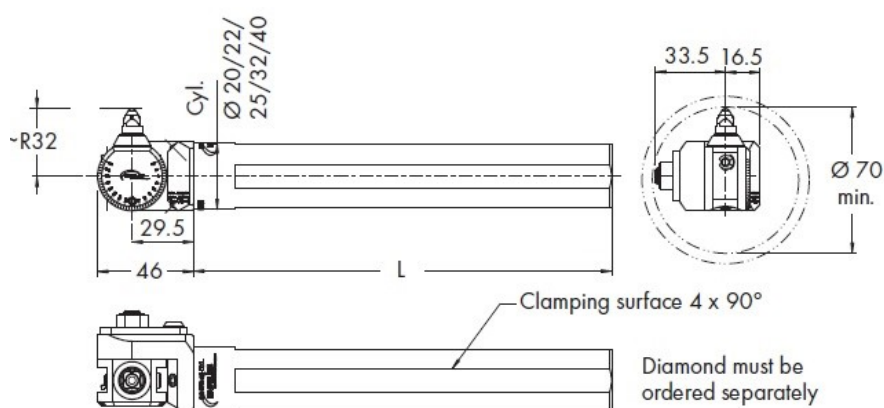
Obrázek 25 Měřicí sonda v držáku

Tabulka 8 Naměřené hodnoty drsnosti před hlazením

Měření č.	Hodnota Ra [μm]	Hodnota Rz [μm]
1	1,24	7,23
2	1,15	6,45
3	1,17	6,51
4	1,22	7,11
5	1,19	6,61
6	1,21	7,28
Průměrná hodnota	1,19	6,86

Měření drsnosti jsme provedli v šesti místech po celém obvodu soustruženého povrchu a tím jsme získali ucelený pohled na hodnotu opracování před další operací. Hodnoty opracování byly konzultovány se zástupci VŠB a byly vyhodnoceny jako velmi dobré a vhodné pro použití diamantového nástroje.

Technické detaily nástroje:



Variable diamond burnishing tool for internal use	
Application	holes and internal contours
Standard fixture	cylindrical shank Ø 20/22/25/32/40 mm
Swiveling range	210 °
Indexing	42 x 5°
Application parameters	
Speed	up to 150 m/min
Feed rate	0.05 – 0.2 mm/rev
Workpiece allowance	up to 0.02 mm
Tool pre-load	up to 1 mm
Lubrication	emulsion or oil; filtration of the lubricant (< 40 µm) can improve the surface quality and the tool life

Obrázek 26 Technické parametry nástroje

Nástroj je standardě dodáván s sadě se čtyřmi přitlačnými pružinami, modrá 50-120N, červená 90-200N, zelená 180-400N, hnědá 190-570N, diamant Form E, rádius 1,8 mm.

Nastavené parametry:

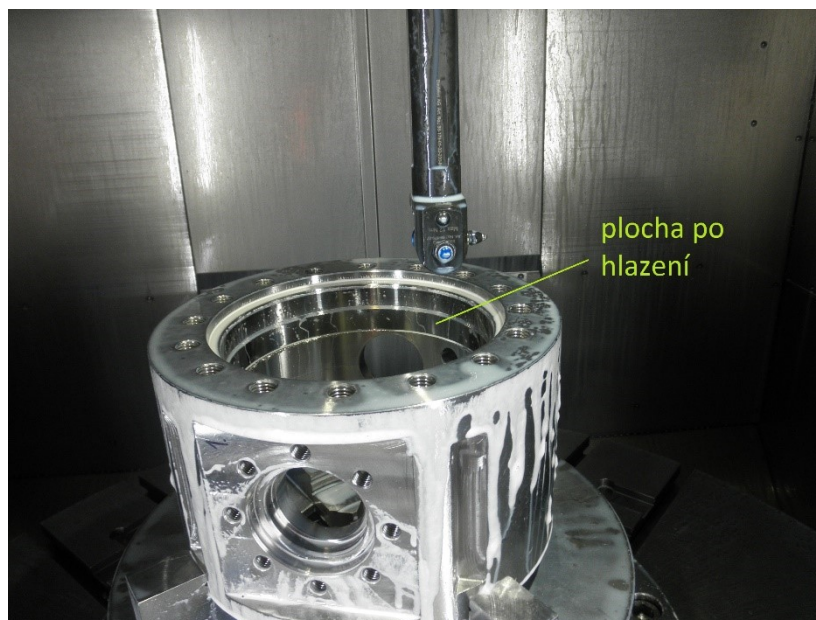
- Řezná rychlost $v_c = 100 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$
- Posuv na otáčku $f_o = 0,05 \text{ [mm]}$
- Přítlak 0,3 mm

Tabulka 9 Výsledné hodnoty drsnosti test č. 1

Testovací hlazení č. 1							
Měření č. 1		Měření č. 2		Měření č. 3		Měření č. 4	
Ra [µm]	Rz [µm]	Ra [µm]	Rz [µm]	Ra [µm]	Rz [µm]	Ra [µm]	Rz [µm]
0,22	1,2	0,19	0,95	0,19	1,05	0,18	0,85

Hodnocení testu č. 1

Naměřené hodnoty po prvním testu sice byly ve stanoveném rozsahu 0,1 – 0,2 Ra, ale spíše na horní hranici tohoto rozsahu, v jednom případě měření dokonce tento rozsah překročil. Pro test č. 2 jsme ponechali stejnou řeznou rychlost i posuv, změnu jsme provedli pouze u přitlaku a to z hodnoty 0,3mm na hodnotu 0,2mm.



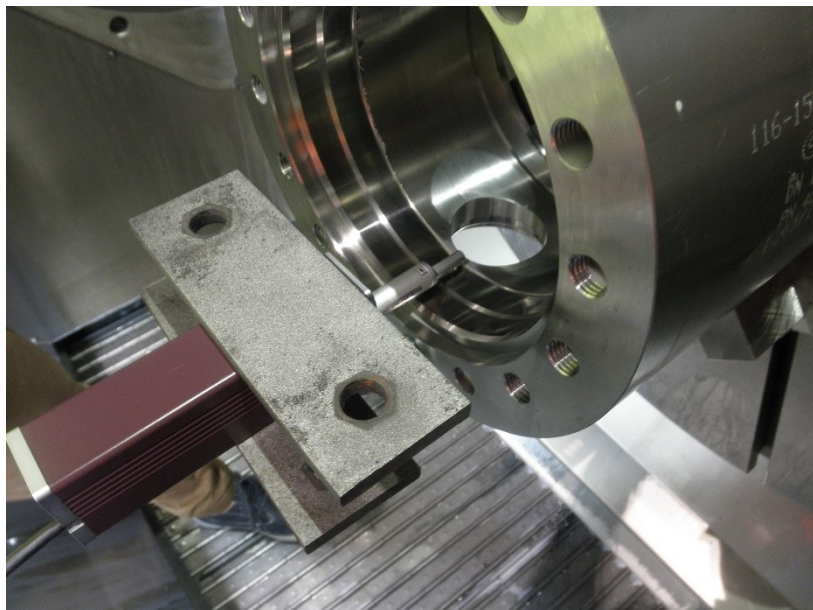
Obrázek 27 Nově vzniklá plocha po hlazení

Tabulka 10 Výsledné hodnoty drsnosti test č. 2

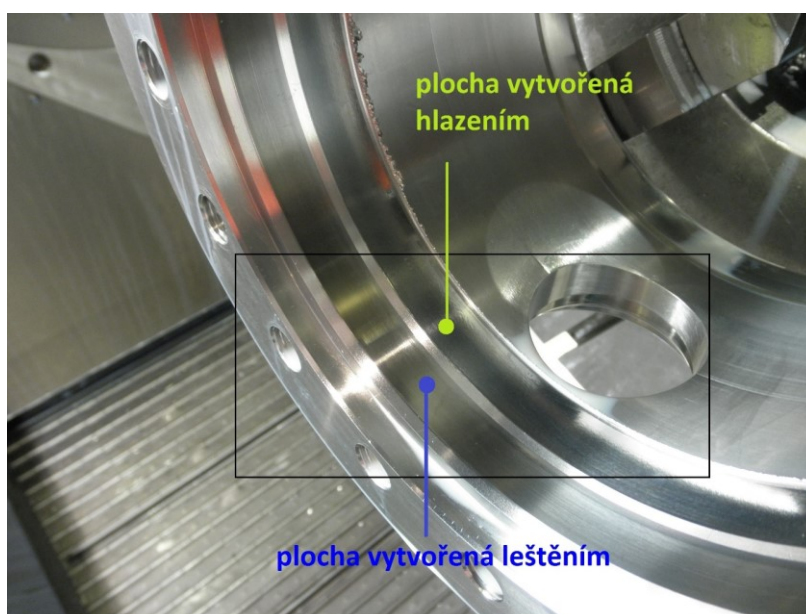
Testovací hlazení č. 2							
Měření č. 1		Měření č. 2		Měření č. 3		Měření č. 4	
Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
0,16	1,00	0,18	1,00	0,15	0,8	0,15	0,9

Hodnocení testu č. 2

Lze konstatovat, že se drsnost povrchu zlepšila. Jak v prvním, tak i ve druhém případě nástroj pracoval jen v jednom směru, to znamená, že po projetí naprogramované dráhy ukončil hladící cyklus vyjetím mimo obrobek. Abychom si potvrdili správnost nastavených parametrů, provedli jsme ještě jeden test, kde jsme opět parametry zachovali, ale přitlak jsme upravili na 0,1mm.



Obrázek 28 Měření drsnosti položením měřícího zařízení



Obrázek 29 Detail leštěné a hlazené plochy

Hodnocení testu č. 3

Po tomto testu a naměřených hodnot drsnosti povrchu je patrné, že k žádné velké změně nedošlo. Výsledky odpovídají předepsaným hodnotám, testování hlazení těchto průměrů bereme za ukončené s vyhovujícím výsledkem.

Tabulka 11 Výsledné hodnoty drsnosti test č. 3

Testovací hlazení č. 3							
Měření č. 1		Měření č. 2		Měření č. 3		Měření č. 4	
Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
0,15	0,8	0,15	0,75	0,12	0,8	0,14	0,7

Částečné hodnocení této varianty:

Dosažené výsledky testování potvrdily, že zakoupením nástroje s diamantovým hrotem budeme mít do budoucna vyřešenou technologii obrábění s předepsanou drsností povrchu.

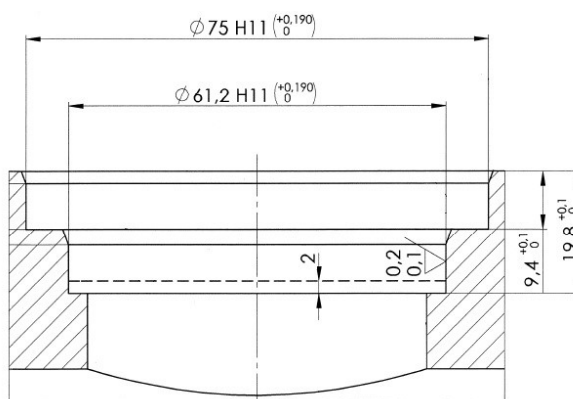
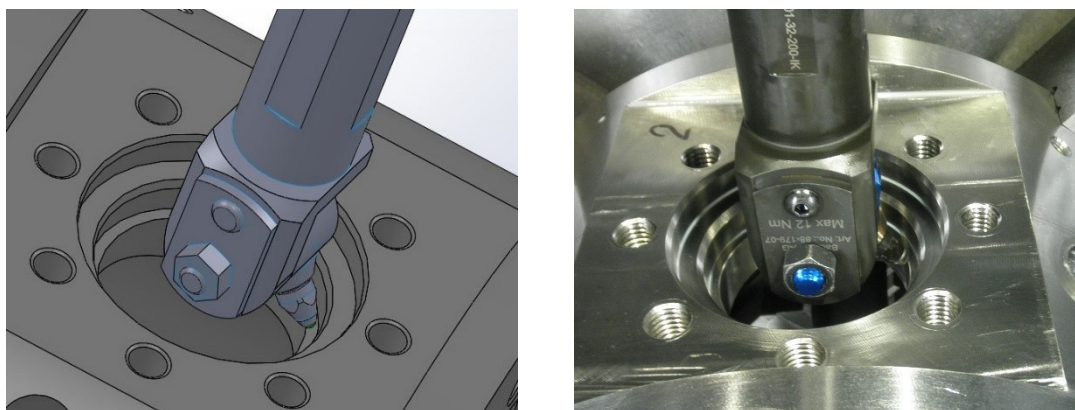
Hlazení tělesa – čepové partie

V předchozím testování jsme se zaměřili na opracování víkových průměrů, kde nástroj byl statický a rotační pohyb prováděl obrobek. V případě, kdy natočíme stůl stroje o 90° tak, abychom byli schopni opracovat čepové partie tělesa, tak se obrobek stává statickým a nástroj rotačním. Takové to využití nástroje jsme museli konzultovat s dodavatelem, který nám náš záměr potvrdil. Dalším technickým problémem je nejmenší použitý průměr pro nástroj, kde podle dodané dokumentace to je $\varnothing 70\text{mm}$. To ovšem pro naše potřeby není vyhovující, proto jsme hlavičku nástroje pootáčeli na různé úhly, abychom zjistili nejmenší možný průměr, který budeme moci opracovat. Tohle měření jsme provedli na optickém zařízení, kde kromě měření průměru jsme sledovali i hloubku, do které může nástroj bezpečně najet.



Obrázek 30 Měřicí a seřizovací přístroj Zoller Venturion 600 [24]

Měřením jsme zjistili, že při vyklonění hlavičky nástroje o 45° splníme požadavek konstrukce, který je ponechání původního opracování maximálně 2 mm od přilehlého čela. Dále jsme zjistili, že toto vyklonění umožní opracování vnitřního \varnothing 61mm v případě, že nástroj bude statický a hloubka do které nástroj pojede, nepřesáhne 8mm. Nástroj je možné použít i jako rotační, ale u této varianty nastává obava, protože dráha nástroje je po kruhové interpolaci spolu s rotačním pohybem a mohlo by dojít ke kolizi s obrobkem. Bylo zapotřebí požádat dodavatele o 3D model nástroje a celou situaci namodelovat.



Obrázek 31 Detaily čepové partie - model, skutečnost a výřez výkresu

Abychom mohli potvrdit, že budeme schopni jedním nástrojem opracovat všechny tyto oblasti, musí celý proces projít testováním, jak v technické přípravě výroby, tak na samotném stroji. Jen tak dosáhneme kýženého výsledku, kterým je opracovat tři průměry na jedno upnutí, pak obrobek otočit ve sklíčidle a opracovat poslední plochu. Jak už jsem se zmiňoval výše, konstrukce povolila pro testování pouze zvětšit průtokový rozměr v tělese. Proto jsme vyrobili ze stejného materiálu dílec, který koresponduje s čepovou partií v tělese, a na něm samotné testy provedeme.

V době zpracovávání této diplomové práce nebylo testování provedeno.

Celkové zhodnocení varianty č. 1

V této variantě jsme v několika krocích a nastaveních úspěšně opracovali plochy s předepsanou drsností. Nástroj jsme použili na vnitřní průměr, natočením hlavičky je možné hladit i vnější průměry, či tvarové plochy. Omezení nástroje je v použití do průchozí díry, u menšího průměru než je $\varnothing 70\text{mm}$ je dalším omezujícím prvkem hloubka. Použití nástroje jako rotačního bude předmětem dalšího testování.

Výhody:

- Celou dráhu nástroje je možné naprogramovat
- Přesné nájezdy a výjezdy
- Bezprašná metoda
- Dokončovací metoda
- Přijatelné náklady na pořízení nástroje

Nevýhody:

- Potřebné odladění technologie při použití na jiné materiály
- Omezení pro vnitřní průměry

5.2 Varianta č. 2 – CNC soustruh SP430

Tato varianta může být zabezpečena buď tímto strojem, případně jiným CNC soustruhem. Pokud tuto variantu zařadím do TNG postupu, musím brát v úvahu, že následné operace, například vrtání děr, na jiném stroji, mohou odlétající třísky poškodit vyhlazené povrchy. Proto je musím patřičně chránit. Vhodná a levná ochrana je přelepení páskou.

Výhody:

- Velmi podobné variantě č. 1
- Opracování na jedno upnutí
- Využití odladěných parametrů
- Efektivní výroba

Nevýhody:

- Nejmenší možný vnitřní průměr, případně tvarová plocha

5.3 Varianta č. 3 – CNC karuselový soustruh SKIQ 8, POWERTURN

Tato metoda vhodná pro rozměrově větší obrobky. O tohoto stroje, případně jiného CNC karuselu lze na jedno upnutí opracovat pouze jednu plochu. Vhodné použití přípravku, ideu jsem popsal v kapitole 4.2. U všech CNC strojů je velkou výhodou bezprašná metoda a programovatelná dráha nástroje.

Výhody:

- Shodné s variantami 5.1 a 5.2
- CNC řízení

Nevýhody:

- Časté ustavování a kontrola
- Zvýšené náklady na přípravu stroje
- Nepoměr přípravného času a času běhu

5.4 Varianta č. 4 – konvenční soustruh, konvenční svislý soustruh

Uvádím i tuto variantu, ale nepředpokládám, že se bude využívat pro potřeby dílců kryogenních kulových kohoutů. Pohledem na výkresovou dokumentaci je patrné, že pro tyto díly jsou vhodnější CNC stroje se všemi výhodami, které jsem uvedl v předchozích variantách.

Výhody:

- Nižší hodinová sazba stroje

Nevýhody:

- Ruční nájezdy a výjezdy
- Rozstřík rezné kapaliny, pokud je tím stroj vybaven
- Problematický dojezd nástrojem k vnitřnímu osazení
- Vyšší odborné požadavky na obsluhu stroje

6 Varianty řešení – nekonvenční dokončovací metody

Elektrochemická technologie obrábění - je metodou beztržiskového řízeného obrábění elektricky vodivých materiálů. Využívá poznatků o působení elektrického proudu na elektrolyt, podstatou metody je fyzikální jev zvaný elektrolýza. Hlavní zákonitosti elektrochemického obrábění jsou dány Faradayovými zákony, teorií elektrolytů a termodynamikou galvanických článků. [25]

Vzhledem ke zpracovávanému tématu diplomové práce uvádím jako nekonvenční dokončovací metody: [4]

- elektrochemické broušení
- elektrochemické leštění
- elektrochemické honování
- elektrochemické lapování

Elektrochemické broušení – Electrolytical Grinding - ECG

Při elektrochemickém broušení je obráběný materiál odebírán z 85 až 90 % anodickým rozpouštěním a z 10 až 15 % mechanickým účinkem zrn brousicího kotouče, který odstraňuje z místa obrábění vzniklé produkty. Pracovní mezera je určována velikostí brousících zrn. Jako nástroje se používají elektricky vodivé brousicí kotouče, např. se zrnny diamantu uloženými v kovové (nikl, bronz) vazbě. Výhodou této metody je obrábění bez silových a tepelných účinků, bez otřepů a malých opotřebení brousicího kotouče. [4] [25]

Elektrochemické honování

U elektrochemického honování je kinematika obrábění stejná jako u honování klasického. Honovací hlava má nevodivé lišty a je připojena na záporný pól stejnosměrného napětí, obráběná součást je od rámu stroje odizolována a připojena na kladný pól. Honovací lišty jsou vyráběny ze zrn SiC, Al₂₃ nebo diamantu uložených v kovové vazbě. Na výsledek práce má velký vliv velikost a stabilita pracovní mezery, dokonalost a úplnost rozptýlení elektrolytu v pracovní mezeře. Jako elektrolyt se používají vodní roztoky NaNO₃ nebo NaNO₂ + Na₂₃ v 15% koncentraci. Elektrochemické honování až 6krát zvyšuje produktivitu práce oproti klasickému honování. Dosahují se stejné parametry jako u klasického honování. [4] [25]

Elektrochemické leštění

Základem elektrochemického leštění je anodické rozpouštění výstupků a nerovností povrchu materiálu v elektrolytu při průchodu stejnosměrného proudu. Nástroj (katoda) se většinou vyrábí z olova (nerozpustného v elektrolytu) a musí mít větší plochu, než má obrobek. Podle materiálu obrobku a požadované jakosti obrobené plochy se používají elektrolyty například HCl. [4] [25]

Uvedené požadavky na opracování, lze kromě konvenčního způsobu dokončení provést i nekonvenční metodou. Vzhledem k charakteru dílců jsem vytipoval zařízení, které by za určitých okolností mohly konvenční metody zcela nahradit. To ovšem předpokládá výrazné vstupní investice v podobě strojního vybavení. S takovou variantou je možné počítat jen v případě sériové nebo hromadné zakázkové náplni.

6.1 Varianta č. 1 - elektrochemické honování

Tato metoda dokončovací operace, která by přicházela v úvahu, skýtá řadu technických problémů.

- průměry otvorů – na každý rozměr musí být samostatná hlava
- polohové ustavení dílce – polohovací zařízení případně přípravek s kontrolou ustavení vůči rotujícímu nástroji



Process Characteristics

- Abrasive stones are used to maintain the gap size of 0.075 to 0.250mm.
- Surface finish ranges from: 0.2 to 0.8 μ m.
- Electrolyte temperature is nearly maintained at 38-40 °C.
- Pressure of 1000kPa.
- Flow Rate: 95 L/min.
- DC Current is Used.
- Voltage gap of 6 to 30V is kept accordingly.
- Current Density of 465 A/cm².

Obrázek 32 Honovací zařízení Rottler [26]

6.2 Varianta č. 2 - elektrochemické broušení

Další způsob dokončovací metody obrábění. Tato varianta je vhodnější pro větší dílce, vysoká variabilita stroje je zabezpečena upínacím stolem o průměru 1000 mm, který disponuje např. zařízením VG1000. Výhodou zařízení je CNC řízení Fanuc.



Obrázek 33 VG1000 3-AXES ECG CNC Vertical Grinder [27]

Specifications

Control: Fanuc Oi-T CNC Control

Table: 1000 mm diameter (39.37" diameter)

Vertical Travel: 457 mm (18")

Horizontal Travel: 910 mm (35.8")

Spindle Motor: 7.5 HP

Wheel Diameter Maximum: 305 mm (12")

- VG1000 Overview
- Fanuc Oi-t series CNC control.
- 1000-amp DC power supply.
- Electrolyte system featuring SS tank and recirculation system.
- High efficiency filtration system.
- Stainless steel splash guard with wide access for loading/unloading.

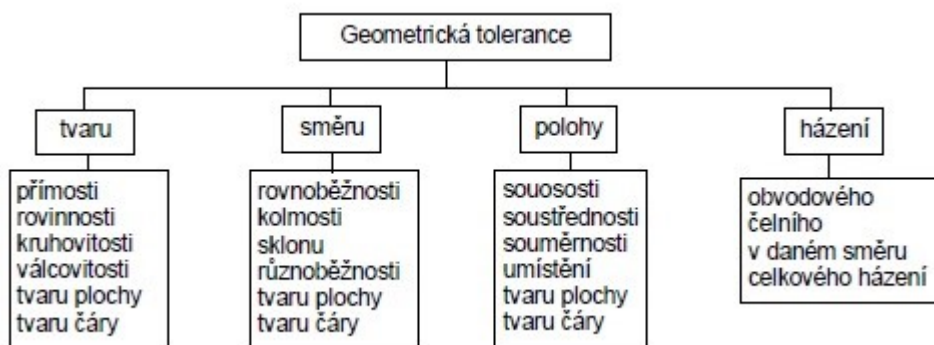
Obě tyto varianty mohou konvenční metody nahradit, ovšem před pořízením těchto zařízení bude důležitým prvkem také marketingový průzkum trhu, protože opracování, které jsme schopni těmito zařízeními dosáhnout, nejsou standardní v našem výrobním sortimentu a tím by zbytečně prodražovaly výrobu.

7 Měření

Každý nový výrobek, který je dodáván na trh prochází svým vývojem a výrobou prototypu. Jinak tomu nebylo ani u kryogenního kulového kohoutu DN100. Abychom měli jistotu, že vyrobené dílce zcela odpovídají výkresové dokumentaci, bylo rozhodnuto, že hlavní dílec, kterým je těleso, bude proměřeno v laboratoři 3D měření na Vysoké škole báňské v Ostravě. S tímto požadavkem jsem se obrátil na vedení katedry, která mému požadavku vyhověla. Na těchto měřicích činnostech jsem úzce spolupracoval s Ing. Lenkou Čepovou Ph.D., kde jsme na několika schůzkách diskutovali nad jednotlivými kontrolními uzly i nad tím, z jakých dílů se celá armatura skládá, jaké jsou mezi nimi návaznosti a jaké očekávám od celého měření výsledky. Dohodli jsme se, že bude provedeno měření geometrických tolerancí a drsnost povrchu.

7.1 Geometrické tolerance

Dle normy ISO 1100 je geometrická tolerance definována jako toleranční pole, ve kterém se musí nacházet skutečný prvek součásti.



Obrázek 34 Klasifikace geometrických tolerancí [5]

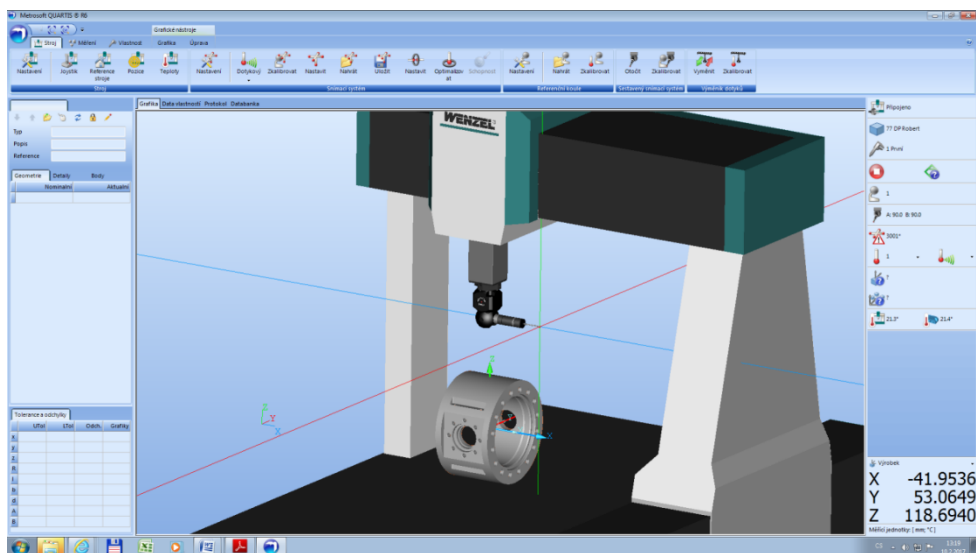
Na konkrétním dílci – těleso, jsou předepsány tyto geometrické tolerance:

- kolmost
- rovnoběžnost
- souosost

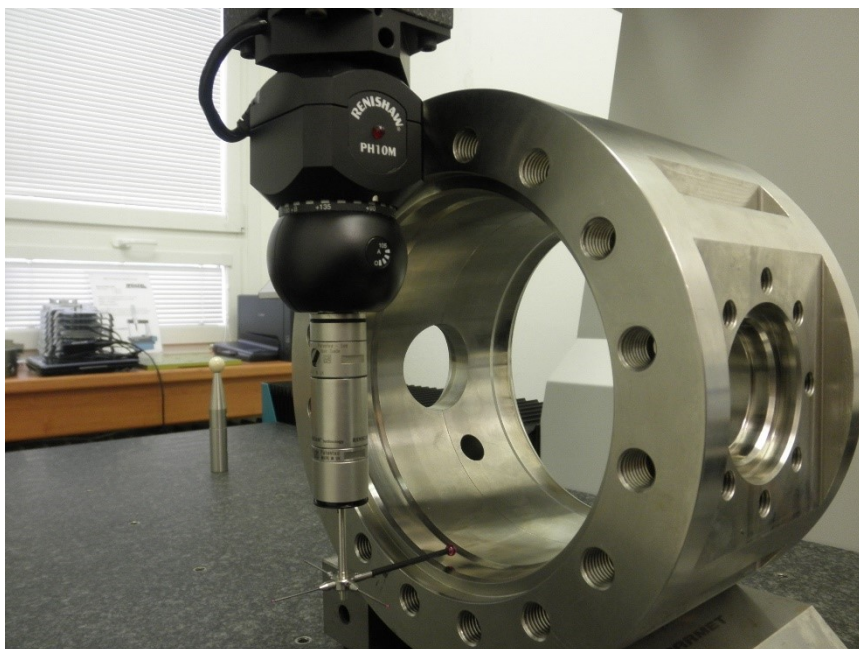
Měření těchto geometrických tolerancí se provedlo na tříosém souřadnicovém měřicím zařízení SMS Wenzel LH 65 X3M Premium a měřicím software Metrosoft QUARTIS R6.

Parametry zařízení SMS Wenzel

- Měřící rozsah v osách X = 650mm, Y = 1000mm, Z = 500mm
- Motorická indexovatelná hlavice RENISHAW PH 10M, měřící sonda SP25, modul SM25-1, průměr dotyku 5mm, délka dotyku 50mm



Obrázek 35 Design měřícího softwaru Metrosoft QUARTIS R6



Obrázek 36 Měření tělesa

Odchylky polohy [5]

Při vyhodnocování odchylek polohy má velký význam jednotná interpretace základů, které určují geometrický souřadnicový systém na součásti, v němž je stanovena kótami nebo jen zobrazením jmenovité polohy hodnoceného prvku. Těmito základnami mohou být:

- Skutečné roviny, které se při měření nahrazují obalovými rovinami nebo rovinami souměrnosti
- Přímký (osy souměrnosti)
- Body (střed)

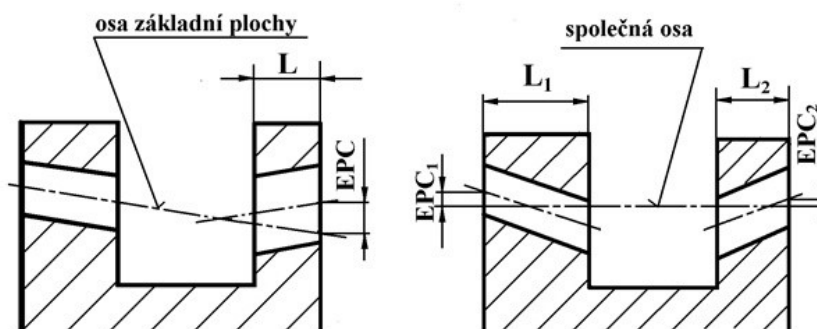
Odchylka rovnoběžnosti se může týkat:

- Dvou rovin
- Přímký a roviny
- Dvou přímký v rovině
- Dvou přímký v prostoru

Měření je možno provádět rovněž na souřadnicovém měřícím stroji, kdy vztažnou rovinou je buď plocha upínacího stolu, nebo jako vztažnou rovinu lze použít i jinou rovinu měřené součásti, která se matematicky vyrovná.

Odchylka souososti

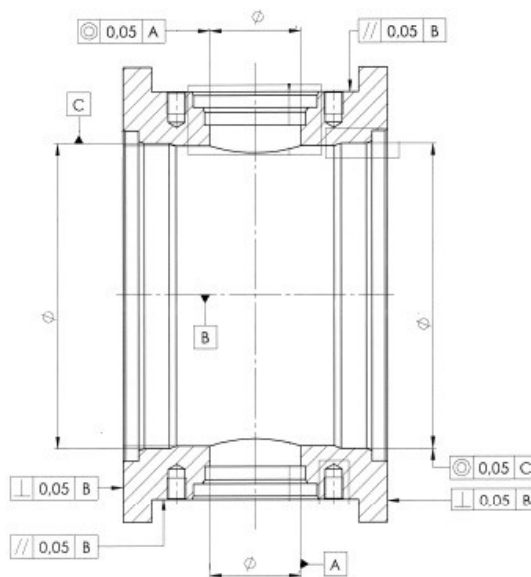
- Odchylka souososti od osy základní plochy
- Odchylka souososti od společné osy



Obrázek 37 Odchylka souososti [5]

Měření odchylky souososti na tří souřadnicovém měřícím stroji bývá často předepsané jako doplněk měření průměrů se společnou osou. Po změření potřebných prvků (průměrů otvorů nebo vnějších průměrů) je možno a využitím softwaru vyhodnotit i odchylku souososti.

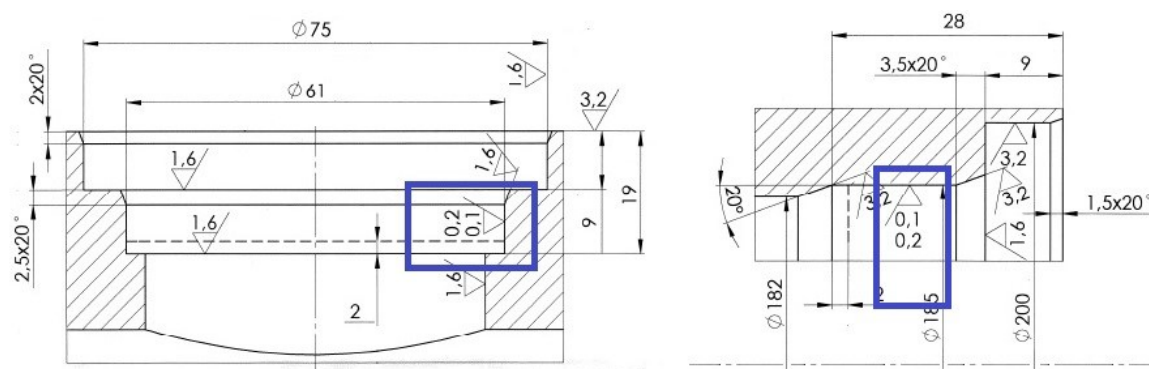
Na obrázku 38 jsou zobrazeny geometrické tolerance, které byly pomocí SMS Wenzel měřeny.



Obrázek 38 Detail geometrických tolerancí

7.2 Drsnost povrchu

Drsnost obrobené plochy je způsobena stopami, které na ní zanechá břit nástroje. Druh a stupeň drsnosti závisí na způsobu obrábění, na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu, na jakosti, tvaru a geometrii břitu, na řezných podmínkách, zejména na velikosti posuvu a na řezné rychlosti. Drsnost povrchu dosahovaná při obrábění může být dále ovlivňována tuhostí soustavy stroj - nástroj – obrobek, způsobem upínání obrobku, řeznou kapalinou, třením třísky a nástroje o obrobený povrch, opotřebením nástroje apod. [28]



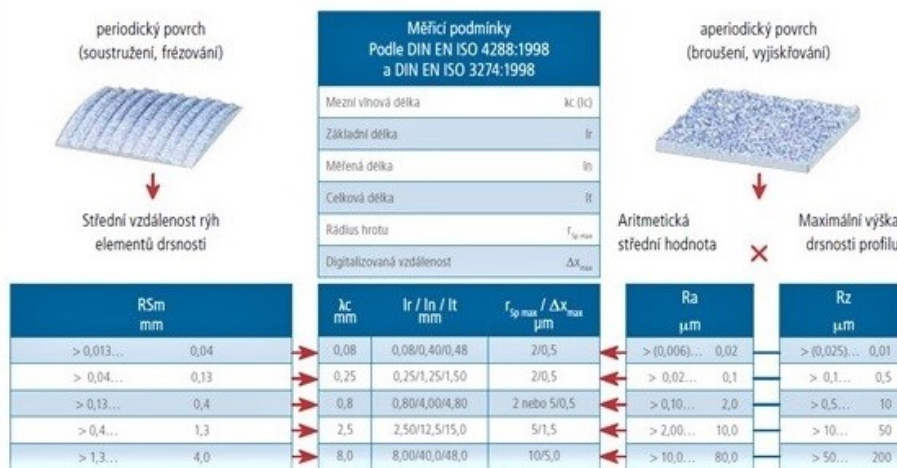
Obrázek 39 Detaily čepové a víkové partie

Struktura povrchu je členěna na jednotlivé složky podle rozteče příslušných nerovností. Norma ČSN EN ISO 4287 definuje tyto geometrické parametry: [5]

- R – drsnost povrchu
- W – vlnitost povrchu
- P – základní profil



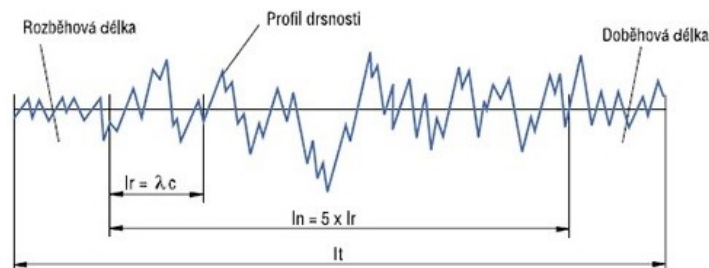
Drsnost povrchu dle DIN EN ISO



Obrázek 40 Drsnosti povrchu - Ra, Rz, RSm [29]

Základní délka l_r – délka ve směru osy x používaná pro rozpoznání nerovností charakterizujících daný profil. Délka pro drsnost l_r je číselně rovna hodnotě filtru λ_c . [5]

Vyhodnocovaná délka l_n - délka ve směru osy x používaná pro posouzení vyhodnocovaného profilu. [5]

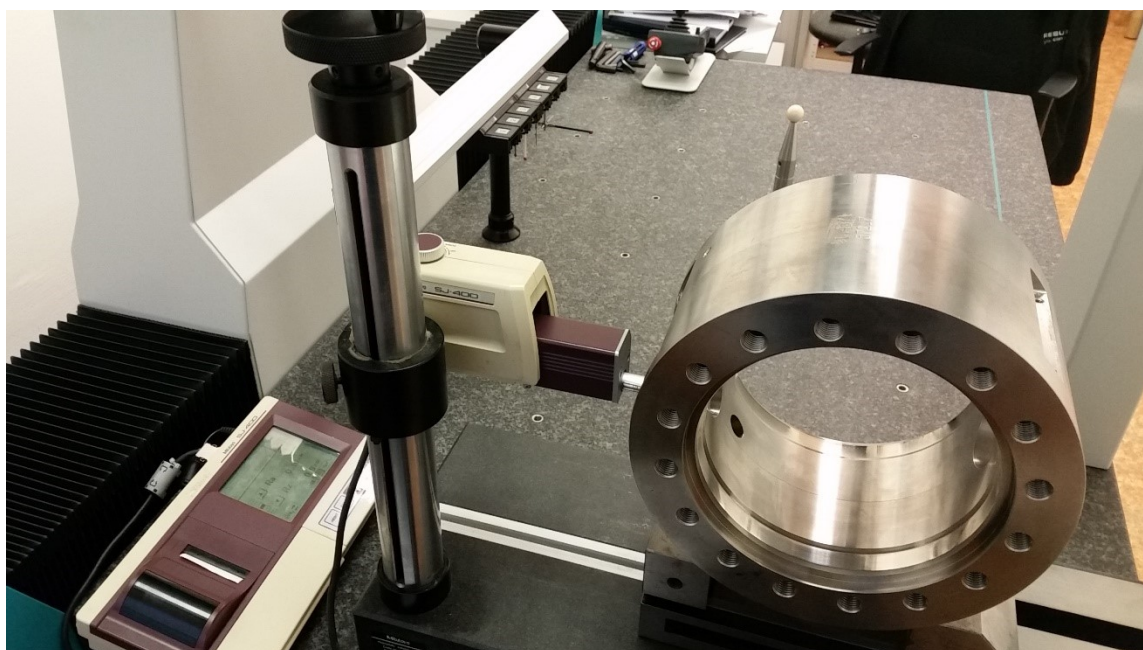


Obrázek 41 Měřené délky [29]

7.3 Měření prototypového tělesa

Měření geometrických odchylek a drsnosti povrchu jsem předal po dokončení výroby prototypového tělesa, které se vyrobilo podle varianty popsané v bodě 4.2. Dalo se předpokládat, že geometrické odchylky budou vyrobené v toleranci, protože výroba se realizovala výhradně na CNC strojích a dílec byl vždy upnutý ve sklíčidle. Ve výrobě sice proběhlo interní měření, ale na doporučení konstrukce jsme ještě požádali o nezávislé měření, které bylo provedeno podle předané výkresové dokumentace. Po zpracování naměřených výsledků jsme obdrželi informaci, že těleso je geometricky v pořádku.

Měření drsnosti povrchu popíšu podrobněji. Pro měření bylo použito zařízení Mitutoyo SJ 400 a dílec byl položený v prizmatických čelistech.



Obrázek 42 Měření drsnosti na tělese

Na dílci byly měřeny drsnosti ve víkových a čepových partiích, vždy dvě plochy naproti sobě

- Hodnota R_a [μm]
- Hodnota R_z [μm]
- Hodnota R_{Sm} [μm]

Výsledky jsou uvedeny v níže uvedených tabulkách, uvádím vždy jen po jednom měření

Tabulka 12 Naměřené a vypočtené hodnoty - víková pozice

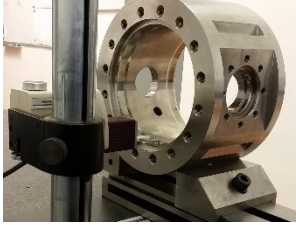
Měření víkové pozice č. 1				
Číslo měření	Hodnota Ra	Střední hodnota \bar{x}	Výběrová směrodatná odchylka $s(x)$	Kombinovaná nejistota u_c
1	0,15	0,1817	0,0248	0,0239
2	0,15			
3	0,20			
4	0,20			
5	0,19			
6	0,20			
Číslo měření	Hodnota Rz	Střední hodnota \bar{x}	Výběrová směrodatná odchylka $s(x)$	Kombinovaná nejistota u_c
1	1,00	1,3167	0,2137	0,1969
2	1,10			
3	1,40			
4	1,40			
5	1,50			
6	1,50			
Číslo měření	Hodnota RSm	Střední hodnota \bar{x}	Výběrová směrodatná odchylka $s(x)$	Kombinovaná nejistota u_c
1	109,60	125,3667	24,6516	21,9220
2	118,50			
3	158,90			
4	130,50			
5	90,30			
6	144,40			

Tabulka 13 Naměřené a vypočtené hodnoty - čepové pozice

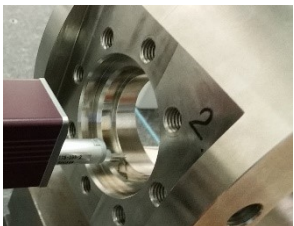
Měření čepové pozice č. 2				
Číslo měření	Hodnota Ra	Střední hodnota \bar{x}	Výběrová směrodatná odchylka $s(x)$	Kombinovaná nejistota u_c
1	0,14	0,1300	0,0063	0,0104
2	0,13			
3	0,13			
4	0,13			
5	0,13			
6	0,12			
Číslo měření	Hodnota Rz	Střední hodnota \bar{x}	Výběrová směrodatná odchylka $s(x)$	Kombinovaná nejistota u_c
1	3,30	2,6833	0,3710	0,3554
2	2,30			
3	2,80			
4	2,70			
5	2,70			
6	2,30			
Číslo měření	Hodnota RSm	Střední hodnota \bar{x}	Výběrová směrodatná odchylka $s(x)$	Kombinovaná nejistota u_c
1	94,70	89,4167	16,5521	13,7363
2	82,00			
3	117,60			
4	80,50			
5	77,40			
6	84,30			

Souhrn výsledků měření

Tabulka 14 Víková pozice - průměrné hodnoty včetně nejistoty

			Průměrná největší výška nerovností profilu			Průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu			Průměrná vzdálenost prvků profilu		
Číslo měření	Víková pozice	Poznámka	Rz	±	Uc	Ra	±	Uc	RSm	±	Uc
			[μm]			[μm]			[μm]		
1	strana č. 2	λc=0,8 μm	1,60	±	0,48	0,16	±	0,05	22,83	±	21,95
2	strana č. 1	λc=0,8 μm	1,32	±	0,20	0,18	±	0,02	125,37	±	21,92
rozptyl hodnot č. 1 a č. 2			0,28			0,02			102,53		

Tabulka 15 Čepová pozice - průměrné hodnoty včetně nejistoty

			Průměrná největší výška nerovností profilu			Průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu			Průměrná vzdálenost prvků profilu		
Číslo měření	Čepová pozice	Poznámka	Rz	±	Uc	Ra	±	Uc	RSm	±	Uc
			[μm]			[μm]			[μm]		
1	strana č. 2	λc=0,8 μm	0,98	±	0,12	0,10	±	0,01	119,87	±	33,52
2	strana č. 1	λc=0,8 μm	2,68	±	0,13	0,13	±	0,01	89,42	±	13,74
rozptyl hodnot č. 1 a č. 2			1,7			0,03			30,45		

Výsledné hodnoty zobrazené v tabulkách dokazují, že námi navržená varianta popsaná v bodě 4.1 je vhodná pro splnění požadavků uvedených v technické dokumentaci, hodnoty jsou ve stanoveném rozsahu Ra [μm].

8 Zhodnocení variant výroby a naměřených hodnot

Základní dokončovací metody obrábění popsané v mé práci lze rozdělit na:

- Nekonvenční
- Konvenční

8.1 Nekonvenční metody

Nabízí se ve variantách elektrochemického honování a broušení. Jsou to však specifické technologické operace, které sebou přináší poměrně značné finanční náklady na pořízení celkové technologie výroby. Tuto metodu přesto uvádím, ovšem v podmínkách společnosti nepředpokládám reálného využití i vzhledem k tomu, že jsme úspěšně zvládli výrobu jinými metodami.

8.2 Konvenční metody

Základní rozdělení na metody abrazivní a beztržiskové, detailně popsány v kapitolách 4 a 5

8.2.1 Abrazivní metoda - varianta č. 1 – Hermle

Testování prováděno na stroji Hermle pomocí brusných kotoučů

Výhody:

- Pořizovací náklady brusných kotoučů, řádově desítky korun
- Programovatelná dráha nástroje
- Ustavení na stroji pomocí sklíčidla, není zapotřebí kontrola ustavení
- Využití poloh stolu pro opracování více otvorů

Nevýhody:

- Stroj není určen pro brousící operace, zanášení částicemi brusiva
- Postupné používání brusných kotoučů v závislosti na zrnitosti
- Vyšší hodinová sazba

8.2.2 Abrazivní metoda - varianta č. 2 – karusel SK12

Testování prováděno na konvenčním karuselu SK12 s přídatným zařízením a přípravkem

Výhody:

- Pořizovací náklady na brusku do 15000kč
- Nízká hodinová sazba stroje

Nevýhody:

- Větší zkušenost obsluhy stroje
- Nutné použití přípravku, kontrola ustavení v něm
- Vyšší pracnost před dalším broušením
- Při využití lapovacích past vyšší náklady na čištění stroje

8.2.3 Abrazivní metoda - varianta č. 3 – CNC soustruh SP430

Pomocí superfinišovacího přídatného zařízení, tato metoda nebyla testována, tímto zařízením společnost nedisponuje. Zhodnocení v teoretické rovině.

Výhody:

- Programovatelná dráha nástroje
- Dosažitelná drsnost $R_a 0,025 \mu m$
- Opracování na jedno upnutí

Nevýhody:

- Omezená velikost dílce
- Zanášení částicemi brusiva
- Pro CNC soustruh nutné pořízení filtračního zařízení

8.2.4 Beztřísková metoda - varianta č. 1 – Hermle

Pro tuto metodu jsme si na doporučení odborníků z katedry obrábění VŠB zapůjčili nástroj s diamantovou kuličkou, provedli pouze testování na stroji Hermle. Ostatní uvedené varianty budou zhodnoceny pouze teoreticky, dá se však předpokládat, že ověřené parametry povedou ke stejnému výsledku. Detailnější popis provedeného testování uvádím v kapitole 5.1.

Výhody:

- Přijatelné pořizovací náklady na nástroj
- Programovatelné dráhy nástroje
- Bezprašná dokončovací metoda
- Využitelnost polohování stolu stroje
- Efektivní výrobní operace

Nevýhody:

- Omezení pro vnitřní průměry

Doplnění k hodnocení:

Pokud je nástroj využíván jako statický, lze opracovat díru o průměru 70mm a větší a přitom nezáleží na pozici diamantu. Lze však opracovat i díru menšího průměru, zde je však omezení v hloubce, do které může nástroj bezpečně najet, problematika řešena na stranách 33 a 37, viz obrázky č. 26 a č. 31.

8.2.5 Beztřísková metoda - varianta č. 2 – CNC soustruh SP430

Tato varianta nebyla testována, výhody i nevýhody shodné s bodem 8.2.4

8.2.6 Beztřísková metoda - varianta č. 3 – CNC karusel SKIQ 8

Tato varianta nebyla testována, vhodná pro větší obrobky, nutné použití přípravku, detailně řešeno v bodě 4.2

Výhody:

- Velmi podobné s bodem 8.2.4 a 8.2.5
- CNC řízení

Nevýhody:

- Časté ustavování a kontrola
- Na jedno upnutí se opracuje jen jedna plocha
- Nepoměr času běhu stroje a času ustavení
- Nemožnost nastavení polohy stolu

8.2.7 Beztřísková metoda - varianta č. 4 – konvenční soustruh či karusel

Nepředpokládám, že se bude využívat, vhodnější pro výrobu jsou CNC stroje

Nevýhody:

- Najíždění nástroje ručně
- Rozstřík řezné kapaliny, chladit je podmínka
- Problematický dojezd nástroje k přilehajícímu čelu v díře
- Vyšší odborné požadavky na obsluhu stroje

Celkové hodnocení variant:

Testováním jsme si ověřili, že požadované opracování lze docílit několika metodami a variantami. Nelze přímo stanovit, která varianta je nejvýhodnější, protože je nutné také přihlídnout k celkové organizaci výroby na jednotlivých strojích. Pokud bychom měli hodnotit pouze technologii výroby, přikláním se k využívání pětiosého obráběcího centra Hermle s využitím diamantového nástroje.

8.3 Zhodnocení naměřených hodnot

Měření geometrických odchylek a drsnosti povrchu jsme realizovali v laboratoři 3D měření na VŠB Ostrava.

Měřicí zařízení:

- SMS Wenzel LH65 X3M – měřené parametry kolmost, souosost, rovnoběžnost
- Mitutoyo SJ 400 – hodnoty Ra, Rz, RSm

Hodnocení geometrie: Měřicím zařízením Wenzel byly přeměřeny stanovené geometrické tolerance, detail výkresu představuje obrázek č. 38. Výsledky nám potvrdily, že stanovený dílec je vyrobený podle výkresové dokumentace.

Hodnocení drsnosti: Provedeno měřicím zařízením Mitutoyo na čtyřech plochách, detail výkresu obrázek č. 39. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou zobrazeny v tabulkách č. 12 až č. 15. Z výsledků lze usoudit, že drsnost ploch odpovídá výkresové dokumentaci, použití brusných kotoučů lze jako variantu využít, je ovšem zvážit na jakém obráběcím stroji toto budeme provádět, viz hodnocení jednotlivých variant v kapitole č. 8.

9 Závěr

Společnost, ve které pracuji, je tradičním výrobcem průmyslových armatur pro potrubní systémy. Na trhu s tímto sortimentem působí již mnoho let, zkušenosti jejich zaměstnanců se tedy přímo odrážejí na jejím postavení. Bohužel situace na trhu pro takto zaměřené firmy nebyla v předchozích měsících nejlepší, což se samozřejmě promítlo do řady opatření. Tento stav se však musí logicky změnit a začíná se pozvolna projevovat zvýšeným zájmem investorů o dodávky armatur. Pružně reagovat na tyto turbulentní změny budou jen společnosti, které mají co svým zákazníkům nabídnout, dodávka včas a ve vysoké kvalitě je v dnešní vysoké konkurenci samozřejmostí. I za této situace a možná právě proto se firma rozhodla uvést na trh nový produkt, který umožní, abychom byli mezi těmi, kdo budou osloveni zpracováním nabídky do nově vzniklých projektů.

Jedná se kulový kohout pro kryogenní aplikace. Široké veřejnosti tento termín nebude příliš známý, avšak v odborných kruzích je považováno, že se jedná o armaturu pro velmi náročné podmínky. Tyto podmínky konkrétně zahrnují práci s médiem o záporné teplotě až do -273°C . Už jen z hodnoty takové teploty vyplývá, že nelze v praxi využít standardní armaturu, kterou vyrábí mnoho firem, ale že se jedná o opravdu speciální výrobek. Tyto armatury podléhají řadě norem, jež jednoznačně určují technické provedení, materiály a v neposlední řadě také zkoušení. Na první pohled je kryogenní kulový kohout od standardního kulového kohoutu k nerozeznání, odlišují se však v zásadních detailech, například v použitých těsněních s vazbou na nízkou hodnotu drsnosti opracovaných povrchů. Samotný vývoj nového produktu je velmi časově a finančně náročný a podílejí se na něm všechny technická oddělení z části předvýrobní, výrobní a v neposlední řadě i oddělení řízení jakosti, které je zodpovědné za průběh zkoušení.

Moje diplomová práce je zaměřena na technologii výroby, zejména na dokončovací operace pro dodržení předepsaných hodnot drsnosti povrchu jednotlivých konstrukčních uzlů. Toto opracování není v našem sortimentu standardní. Abychom mohli splnit požadavek konstrukce, respektive zohlednit doporučení výrobce těsnění, museli jsme provést řadu testů a ověřování. Jak již bylo zmíněno, testování prototypu je nákladná záležitost, proto bylo přijato rozhodnutí, že prvotní testování bude provedeno na vzorku vyrobeném z uhlíkového materiálu, který bude opatřen nerezovým návarem, čímž se podmínky co nejvíce přiblíží materiálu, ze kterého bude výsledný kryogenní kulový kohout vyroben. Pro maximální otestování navržené varianty byl zvolen nejsložitější dílec, což je těleso, které obsahuje čtyři plochy, navíc otočené o 90° . Pro první testy jsme použili různé

druhy smirkových kotoučů upevněných na stroji Hermle, který sice není primárně určen k broušení, ale jeho výhodou je natočení stolu do pozice a opracování třech otvorů najednou. Tyto testy proběhly úspěšně a nabyté zkušenosti jsme aplikovali do výroby prototypového dílce.

Výše uvedená abrazivní metoda se osvědčila, ale existují i jiné metody dokončovacích operací. Jednou z nich je metoda beztlísková, kde pracovním nástrojem je diamantový hrot, nebo kulička. Testování tohoto nástroje se podrobně uvedeno v kapitole č. 5. Popisuji v ní, jakým způsobem celé ověřování probíhalo, včetně měření drsnosti přímo na stroji, přístrojem upnutým jako nástroj v držáku nebo jen položeným tak, abychom eliminovali případné chvění. Výsledky opracování splnily naše očekávání, výsledné hodnoty byly ve stanoveném rozsahu. Jediné, co jsme v době zpracovávání této práce neověřili, je použití nástroje jako rotačního, tyto testy budou provedeny v nejbližší době. Jelikož se jedná o výrobu prototypu, byl tento dílec přeměřován v laboratoři 3D měření na Vysoké škole báňské, kde bylo nutné zjistit, zda naše výroba a následné měření odpovídají skutečnosti. Výsledky ukázaly, že jak geometrické hodnoty, tak i hodnoty drsnosti jsou v pořádku. Další možností je využití nekonvenčního způsobu obrábění, ale vzhledem k tomu, že výroba takových speciálních armatur je spíše kusovou záležitostí a společnost toto zařízení nevlastní, je tato varianta zmíněna jen jako možnost bez praktického zhodnocení.

Celou svoji práci jsem vedl k tomu, aby provedené testy a jejich výsledky byly zakomponovány do technologických postupů, včetně ověřených pracovních parametrů. Z výsledků testování lze usoudit, že nástroj s diamantovou kuličkou je vhodným nástrojem, proto výstupem bude doporučení ho zakoupit.

Poděkování

Tato diplomová práce vznikla za podpory řešení projektu MPO TRIO FV10717 Vývoj nové řady kryogenních kulových kohoutů, technologie jejich výroby a zkoušení.

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Robertu Čepovi Ph. D. za jeho rady, připomínky a čas, který mi věnoval. Zároveň chci poděkovat konstrukčnímu, technologickému a vývojovému úseku společnosti Armatury Group a.s. za poskytnutí cenných rad, informací a doporučení.

V neposlední řadě také děkuji své manželce Evě za to, že po celou dobu pětiletého studia stála za mnou, jejímu pochopení v přípravě na náročné zkoušky a podpoře při zpracovávání této diplomové práce.

10 Seznam použité literatury

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. Díl*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. Díl*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. [vid. 2017-03-14]. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje*. 3. vydání. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006 dotisk, 188 s. ISBN 80-7078-941-7.
- [4] SADÍLEK, M. *Nekonvenční metody obrábění I.: elektroerozivní, elektrochemické a chemické obrábění*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2016. [vid. 2017-04-11]. ISBN 978-80-248-3943-1.
- [5] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. Část 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. [vid. 2017-04-10]. ISBN 80-248-0672-X.
- [6] PETŘKOVSKÁ, Lenka a Lenka ČEPOVÁ. *Strojírenská metrologie: studijní opora "Strojírenská metrologie"* [CD-ROM]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2723-0.
- [7] TECHNOLOGIE 1 [online]. [vid. 2017-03-10]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf
- [8] Průmyslové spektrum [online]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-generace-superfinisovacich-zarizeni.html>
- [9] Průmyslové spektrum [online]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/novinky-v-technologie-superfinisovani.html>
- [10] Superfinishing Machines [online]. Dostupné z: <https://www.supfina.com/products/superfinishing-machines/>
- [11] Superfinishing Attachments [online]. Dostupné z: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/8474/Supfina-90-e.pdf

- [12] Profil společnosti Armatury Group, a.s. [online]. Dostupné z: http://www.armaturygroup.cz/soubory/ag_profil_cz_web.pdf
- [13] Produktové katalogy společnosti Armatury Group, a.s. [online]. [vid. 2017-02-12]. Dostupné z: http://www.armaturygroup.cz/soubory/Produktove%20katalogy%20CZ%20EN/kk-s-plovouci-kouli_cz-final.pdf
- [14] Produktové katalogy společnosti Armatury Group, a.s. [online]. [vid. 2017-02-12]. Dostupné z: http://www.armaturygroup.cz/soubory/Produktove%20katalogy%20CZ/uzaviraci-a-skrtyci-klapky_cz_2015.pdf
- [15] Produktové katalogy společnosti Armatury Group, a.s. [online]. [vid. 2017-02-12]. Dostupné z: http://www.armaturygroup.cz/soubory/Produktove%20katalogy%20CZ/hutni_de_2016_konstrukce-02_final.pdf
- [16] Optimized surfaces by roller burnishing [online]. Dostupné z: <http://www.baublies.com/index-en.html>
- [17] Nástroje Alba Precision [online]. [vid. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://albaprecision.cz/cz/portal/produkty/baublies/diamantove-nastroje/>
- [18] Wiktori s.r.o. Obráběcí CNC stroje a příslušenství. Dostupné z: <http://www.wiktori.cz/cs/13-decom.html>
- [18] Deprag CZ a.s. Výrobce pneumatického nářadí [online]. Dostupné z: http://www.deprag.cz/files/eshop/products-dokumenty/dcz10135_c.pdf
- [20] 3M Science Applied to life [online]. Dostupné z: http://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~3M-Trizact-Cloth-Belt-237AA?N=5002385+3293241210&rt=rud
- [21] G3 eshop [online]. Dostupné z: http://www.g3.cz/img/Katalog/Brusivo/Brusne_systemy_pro_pasove_brouseni.pdf
- [22] OmniSeal Innovative Sealing&Polymer [online]. Dostupné z: http://www.seals.saint-gobain.com/sites/imdf.seals.com/files/saint-gobainseals_omniseal_handbook_na.pdf
- [23] Mitutoyo – měřicí přístroje [online]. Dostupné z: http://www.mitutoyo.cz/cs_cz/

- [24] Zoller - Měření a kontrola nástrojů [online]. Dostupné z: <http://zoller.cz/wp-content/uploads/2014/03/venturion-600.pdf>
- [25] Nekonvenční metody obrábění [online]. [vid. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2-2.html>
- [26] Výrobce honovacích zařízení Rottler [online]. Dostupné z: <http://www.rottlermfg.com/>
- [27] Výrobce zařízení [online]. Dostupné z: <http://www.everite.com/machine-tools/vg1000-3-axes-ecg-vertical-grinder/>
- [28] Metal Cutting Technologies [online]. [vid. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>
- [29] We measure the world. Hommel CS s. r. o [online]. [vid. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://www.hommel-etamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>
- [30] Oborový portál pro vyhrazená tlaková zařízení [online]. Dostupné z: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1003>
- [31] AG zpravodaj č. 62. Vydavatel Armatury Group a.s., 2017. [vid. 2017-02-15]

Seznam obrázků

Obrázek 1 Výrobní hala [12]	10
Obrázek 2 Ekologické brýlové šoupátko [15]	11
Obrázek 3 Uzavírací motýlková klapka [14]	11
Obrázek 4 Modely kryogenního kulového kohoutu	14
Obrázek 5 Předepsaná drsnost povrchu pro použití těsnění	15
Obrázek 6 Závislost tlaku na teplotě a návaznost na velikost mezery Gap [22]	15
Obrázek 7 Řez kulovým kohoutem s vyznačenými konstrukčními uzly	15
Obrázek 8 Baubles - nástroj s diamantovým hrotem [16]	17
Obrázek 9 CNC soustruh SP430	19
Obrázek 10 Pětiosé obráběcí centrum Hermle C60U	19
Obrázek 11 Základní ustavení dílce	20
Obrázek 12 Graficky- polohy nástroje vůči dílci	20
Obrázek 13 Graficky - polohy nástroje vůči dílci – upravené nájezdy	21
Obrázek 14 Graficky - brousicí cyklus.....	21
Obrázek 15 Prstenec, držák a sestava brousícího nástroje [20] [21]	23
Obrázek 16 Drsnosti povrchů pro jednotlivé zrnitosti [21].....	23
Obrázek 17 Upnutí pneumatické brusky v držáku	26
Obrázek 18 Ustavení dílce na přípravku	27
Obrázek 19 Ustavení dílce na přípravku - řez	27
Obrázek 20 Ustavení dílce na přípravku, čepová partie	28
Obrázek 21 Ustavení dílce na přípravku, čepová partie - řez	28
Obrázek 22 Superfinišovací zařízení Supfina [10] [11]	29
Obrázek 23 Baubles – kulička diamantového nástroje [16].....	30
Obrázek 24 Měřící zařízení drsnosti Mitutoyo SJ-201P [23]	31
Obrázek 25 Měřící sonda v držáku.....	32
Obrázek 26 Technické parametry nástroje	33
Obrázek 27 Nově vzniklá plocha po hlazení	34

Obrázek 28 Měření drsnosti položením měřícího zařízení	35
Obrázek 29 Detail leštěné a hlazené plochy	35
Obrázek 30 Měřící a seřizovací přístroj Zoller Venturion 600 [24]	36
Obrázek 31 Detaily čepové partie - model, skutečnost a výřez výkresu	37
Obrázek 32 Honovací zařízení Rottler [26]	41
Obrázek 33 VG1000 3-AXES ECG CNC Vertical Grinder [27]	42
Obrázek 34 Klasifikace geometrických tolerancí [5]	43
Obrázek 35 Design měřícího softwaru Metrosoft QUARTIS R6	44
Obrázek 36 Měření tělesa	44
Obrázek 37 Odchylka souososti [5]	45
Obrázek 38 Detail geometrických tolerancí	46
Obrázek 39 Detaily čepové a víkové partie	46
Obrázek 40 Drsnosti povrchu - Ra, Rz, RSm [29]	47
Obrázek 41 Měřené délky [29]	47
Obrázek 42 Měření drsnosti na tělese	48

Seznam tabulek

Tabulka 1 Varianty kulových kohoutů – plovoucí koule [13]	12
Tabulka 2 Varianty kulových kohoutů – koule na čepech [13]	12
Tabulka 3 Teplota zkapalnění plyných látek [30]	14
Tabulka 4 Dosahované parametry obrobených ploch pro abrazivní metody [2]	16
Tabulka 5 Materiálová dispozice dílců s opracováním Ra 0,1 – 0,2 μm	18
Tabulka 6 Dosažené hodnoty drsností	22
Tabulka 7 Dosažené hodnoty Ra – zrnitost kotouče A16 a A6	24
Tabulka 8 Naměřené hodnoty drsnosti před hlazením	32
Tabulka 9 Výsledné hodnoty drsnosti test č. 1	33
Tabulka 10 Výsledné hodnoty drsnosti test č. 2	34
Tabulka 11 Výsledné hodnoty drsnosti test č. 3	36

Tabulka 12 Naměřené a vypočtené hodnoty - víková pozice.....	49
Tabulka 13 Naměřené a vypočtené hodnoty - čepová pozice	49
Tabulka 14 Víková pozice - průměrné hodnoty včetně nejistoty	50
Tabulka 15 Čepová pozice - průměrné hodnoty včetně nejistoty.....	50